# CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS PÚBLICOS DE ADUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

**Autoria:**

**Helena Alegre, Sérgio Teixeira Coelho, Maria do Céu Almeida e Paula Vieira**

# FICHA TÉCNICA

## Título:

CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS PÚBLICOS DE ADUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

## Autoria:

Helena Alegre, Sérgio Teixeira Coelho, Maria do Céu Almeida, Paula Vieira

## Colaborações:

Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR): co-financiou a edição e participou na estruturação do manual, na revisão do seu conteúdo e na selecção de entidades gestoras com experiência no controlo de perdas de água para participação no manual.

Instituto da Água (INAG): co-financiou a elaboração deste manual, no âmbito do estudo "Apoio à Implementação do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água" em desenvolvimento conjunto entre o LNEC e o INAG.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil: a elaboração deste manual contou ainda com a colaboração da Eng.ª Dália Loureiro, do Eng.º Paulo Praça e do Técnico João Vale, do Núcleo de Engenharia Sanitária.

Entidades gestoras: a experiência portuguesa neste domínio é ilustrada com o contributo das seguintes entidades: Águas de Cascais, S.A., Águas de Gaia, E.M., Delegação de Mafra da Compagnie Générale des Eaux, EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A, Indaqua Santo Tirso – Gestão de Águas de Santo Tirso, S.A. e SMAS de Oeiras e Amadora.

Nas várias edições do curso "Controlo de perdas de água em sistemas de adução e distribuição", promovido pelo IRAR e realizado pelo LNEC durante 2004 e 2005, foram dadas contribuições por diversas entidades.

## Comissão de apreciação do IRAR:

Eng.º Jaime Melo Baptista, Eng.º João Almeida e Eng.º Theo Fernandes.

## Comissão de apreciação do INAG:

Eng.º Adérito Mendes, Eng.ª Isabel Guilherme, Eng.º Pedro Avillez, da Divisão Direcção de Serviços de Planeamento.

## Edição:

Instituto Regulador de Águas e Resíduos

Instituto da Água

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

## Data:

1 de Novembro de 2005

## ISBN:

972-99354-4-0

## Depósito Legal:

235614/05

# PREFÁCIO DO IRAR E DO INAG

A procura de água em Portugal para o sector urbano está actualmente estimada em cerca de 570 milhões de metros cúbicos por ano, a que corresponde um custo para a sociedade de 875 milhões de euros, representando 0,77% do Produto Interno Bruto português.

Acontece que nem toda esta água é efectivamente bem aproveitada, havendo uma parcela importante associada a ineficiência de uso, sob a forma de perdas e desperdícios. Essa ineficiência, correspondente a cerca de 240 milhões de metros cúbicos por ano, tem custos estimados em 370 milhões de euros.

Sendo a água um factor essencial para o desenvolvimento sócio-económico do País, e consequentemente um recurso estratégico e estruturante, há necessariamente que se garantir uma elevada eficiência no seu uso, como contributo para a sustentabilidade dos recursos naturais.

Trata-se, por um lado, de um imperativo ambiental, já que os recursos hídricos não são ilimitados e é portanto necessário protegê-los e conservá-los. Um aumento da eficiência traduz-se evidentemente numa redução dos caudais captados e portanto numa maior salvaguarda dos recursos. Por outro lado, esta opção corresponde a uma necessidade estratégica ligada às disponibilidades e reservas de água no País, na medida em que, embora à escala nacional e anual Portugal não tenha graves problemas de escassez em situação hídrica normal, podem no entanto ocorrer situações críticas, sazonais ou localizadas. Estas situações podem ser não apenas de carácter quantitativo, mas também de carácter qualitativo, com redução das disponibilidades de água com a qualidade necessária resultante da poluição.

Justifica-se assim a crescente preocupação em promover um uso mais eficiente da água, ou seja, optimizar a utilização desse recurso - eficiência de utilização -, sem pôr em causa os objectivos pretendidos - eficácia de utilização - ao nível das necessidades vitais da sociedade, da qualidade de vida da população e do desenvolvimento sócio-económico do País. O objectivo é utilizar menos água para conseguir os mesmos objectivos, permitindo também, como benefícios indirectos, a redução da poluição dos meios hídricos e a redução do consumo de energia, aspectos fortemente dependentes do consumo de água.

Este processo de consciencialização deve ser materializado através de medidas concretas que conduzam à alteração das práticas actuais, o que se pretende venha a ser conseguido através da implementação do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, recentemente aprovado. Este Programa integra-se no esforço de planeamento dos recursos hídricos que o País tem vindo a efectuar, materializado não apenas no Plano Nacional da Água e nos Planos de Bacia Hidrográfica, mas também no Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2000-2006.

Uma parcela importante desta ineficiência corresponde a perdas reais e aparentes nos sistemas públicos de abastecimento. Entre os factores que

influenciam as perdas reais estão o comprimento total de condutas, o estado das condutas e componentes, o seu material, a frequência de fugas e de roturas, a densidade e comprimento médio de ramais, a pressão de serviço média, a localização do medidor domiciliário no ramal e o tipo de solo e as condições do terreno, relevantes sobretudo no modo como se torna aparente ou não a ocorrência de roturas e fugas. Os factores que influenciam as perdas aparentes são em geral as ligações ilícitas, o uso fraudulento de bocas de incêndio e os erros associados à medição.

Estima-se que em Portugal estas perdas atinjam em média os 40%, correspondendo a 70 milhões de euros, considerando-se como objectivo a atingir a meta de 15%.

Em síntese, Portugal regista valores elevados de perdas que nomeadamente condicionam a implementação de regimes económicos e financeiros adequados nos serviços de águas, sendo o potencial de acção, na maioria dos sistemas, ainda muito grande. Para além da valia ambiental, social e de saúde pública, o controlo de perdas permite significativos ganhos económicos, o que deve ser um incentivo para a actuação das entidades gestoras nesta matéria. Pode assim concluir-se que a definição e a implementação de uma estratégia activa de controlo de perdas é um aspecto essencial para o desenvolvimento do sector.

Neste quadro, o Instituto Regulador de Águas e Resíduos e o Instituto da Água entenderam desenvolver, com o apoio do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, o presente guia técnico sobre controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição, cujo objectivo é apoiar as entidades gestoras nesta tarefa complexa mas essencial para a garantia de uma adequada distribuição pública de água. Este guia destina-se essencialmente aos técnicos das entidades gestoras que têm a seu cargo a exploração de sistemas de abastecimento de água.

Pretende-se assim dar mais um contributo para que progressivamente seja possível servir, de forma regular e contínua, a maior percentagem possível da população portuguesa, com um elevado nível de serviço, a um preço eficiente e justo e dentro de uma perspectiva ambientalmente sustentável e de salvaguarda da saúde pública.

Jaime Melo Baptista
(Presidente do Conselho Directivo do IRAR)

Dulce Álvaro Pássaro
(Vogal do Conselho Directivo do IRAR)

Rui Ferreira dos Santos
(Vogal do Conselho Directivo do IRAR)

Orlando Borges
(Presidente do INAG)

Luísa Branco
(Vice-Presidente do INAG)

# PREFÁCIO DO LNEC

O presente guia resulta de um protocolo estabelecido entre o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), o Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e o Instituto da Água (INAG).

O LNEC, na sua função de Laboratório de Estado, tem vindo a desenvolver, desde há mais de duas décadas, estudos de investigação aplicada e de consultoria especializada no domínio da gestão técnica dos sistemas de abastecimento de água, alguns dos quais no domínio do controlo de perdas de água. Destaca-se um estudo de identificação, análise crítica e sistematização das melhores práticas de controlo de perdas de água realizado para a EPAL, S.A. em 1994 (Coelho et al., 1994) e a produção de terminologia portuguesa (Hirner et al., 1999), estudos esses que se reflectem no conteúdo do presente manual.

O IRAR tem como um dos seus objectivos estratégicos contribuir para a maior eficiência dos operadores, tanto regulados como não regulados, através de parcerias com as instituições técnicas e científicas mais relevantes do sector. As perdas de água são, sem dúvida, uma das importantes causas de ineficiência dos operadores de sistemas de abastecimento, razão pela qual o IRAR tomou a iniciativa da elaboração deste guia em colaboração com o LNEC e o INAG.

O INAG é o organismo responsável pela implementação do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA). Este programa preconiza a redução de perdas de água nos sistemas públicos de abastecimento como uma medida prioritária na melhoria da utilização do recurso água no sector urbano. O presente guia integra-se nos documentos de apoio em desenvolvimento no âmbito da estratégia de implementação do referido programa.

Este manual vem ajudar a colmatar uma lacuna que havia em termos de bibliografia especializada adaptada às condições existentes em Portugal e escrita em português no domínio das perdas de água. Não constitui um fim em si mesmo, mas apenas o ponto de partida para uma abordagem progressivamente mais universal e mais consolidada no domínio do controlo das perdas de água nos serviços de abastecimento de água. Trata-se de um instrumento de trabalho para as entidades gestoras, a quem cabe a tarefa principal que é de o pôr em prática.

# ÍNDICE GERAL

# ÍNDICES DETALHADOS

## ÍNDICE DO TEXTO

# ÍNDICE DE FIGURAS

# ÍNDICE DE QUADROS

# PARTE I – INTRODUÇÃO E CONCEITOS BÁSICOS

# 1. INTRODUÇÃO

As perdas de água constituem uma das principais fontes de ineficiência das entidades gestoras de abastecimento de água. Analisando outros sectores produtivos, verifica-se que são muito poucos os que se permitem perder, no processo de transporte e distribuição, parcelas tão significativas do produto produzido.

**Combater as perdas de água é melhorar a eficiência da gestão**

O IRAR, Instituto Regulador de Águas e Resíduos, tem como um dos seus objectivos promover o aumento de eficiência das entidades gestoras de sistemas de distribuição de água. Para melhor se compreenderem as razões do IRAR, importa compreender os objectivos mais genéricos a atingir.

A regulação dos serviços de águas e resíduos tem como principal preocupação a protecção dos interesses dos utilizadores, através da promoção da qualidade de serviço prestado pelas entidades gestoras e da garantia do equilíbrio dos tarifários praticados, materializada nos princípios de essencialidade, indispensabilidade, universalidade, equidade, fiabilidade e de custo-eficácia. Deve, no entanto, ter em conta a salvaguarda da viabilidade económica e dos legítimos interesses das entidades gestoras garantindo, nomeadamente, a adequada remuneração dos capitais investidos (criação de valor accionista), independentemente do seu estatuto público ou privado, municipal ou multimunicipal. Deve ainda salvaguardar o restante tecido empresarial do sector, não regulado, de apoio aos operadores, bem como os aspectos ambientais. No que diz respeito às perdas de água, ineficiências elevadas não beneficiam nem os consumidores nem os operadores, reduzindo a qualidade do serviço e contribuindo para aumentar o custo da água que é efectivamente facturada. Assim, promover a redução de perdas é, sem dúvida, uma actividade relevante no âmbito da estratégia regulatória.

O INAG, como organismo responsável pelo desenvolvimento e aplicação das políticas nacionais no domínio dos recursos hídricos e do saneamento básico, tem nas suas atribuições a conservação dos recursos hídricos. Neste âmbito, promove o desenvolvimento do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, que define um conjunto de 87 medidas que permitem melhorar a utilização do recurso água em três sectores: urbano, agrícola e industrial. Uma das medidas prioritárias aplicáveis ao sector urbano é a redução de perdas de água nos sistemas públicos de abastecimento. A elaboração de um manual deste tipo, que apresenta suporte

técnico para a implementação desta medida, faz parte da estratégia de implementação do referido programa pelo INAG.

O que é este manual?

Este manual tem como objectivo guiar as entidades gestoras que decidam pôr em prática uma estratégia pro-activa de controlo de perdas de água. Trata-se de um instrumento didáctico, de cariz prático. Para além dos principais conceitos e abordagens ao problema das perdas, o manual integra ainda uma aplicação computacional, na forma de folhas de cálculo de Microsoft® Excel®, destinada ao cálculo do balanço hídrico, disponível em www.irar.pt. O manual é complementado com a apresentação de um conjunto de seis casos de estudo portugueses onde são aplicadas estratégias de controlo de perdas de água, ilustrando como os conhecimentos mais formais e teóricos têm vindo a ser aplicados no nosso país.

Como está organizado?

O texto está organizado em três partes (Figura 1). A primeira é introdutória, na segunda apresenta-se a abordagem, enquanto que na terceira se apresenta o referido conjunto de casos de estudo.

Para além da presente introdução, a primeira parte apresenta um conjunto de conceitos chave nesta temática e identifica os factores determinantes das perdas de água.

A segunda parte propõe uma abordagem geral ao problema que inclui a avaliação da dimensão do problema, a definição de uma estratégia de controlo de perdas, a implementação de intervenções e a avaliação de resultados. A finalizar apresenta-se uma nota conclusiva, um glossário e um conjunto de anexos com informação geral sobre os tipos de equipamento mais relevantes para o controlo de perdas de água.

A terceira parte, da autoria de cada uma das entidades gestoras participantes, relata sinteticamente as motivações para dar início a uma estratégia de controlo de perdas, a estratégia adoptada, os tipos de intervenções realizadas e um balanço global dos resultados. Os casos de estudo são os de Cascais (Águas de Cascais, S.A.), de Lisboa (EPAL, S.A), de Mafra (Delegação de Mafra da Compagnie Générale des Eaux), de Oeiras (SMAS de Oeiras e Amadora), de Santo Tirso (Indaqua Santo Tirso – Gestão de Águas de Santo Tirso, S.A.) e de Gaia (Águas de Gaia, E.M.).

O manual pode ser utilizado como um texto didáctico, de leitura sequencial, ou como um livro de consulta. No segundo caso, recomenda-se uma leitura prévia do Capítulo 4 (Vias para a abordagem do problema), onde se sintetiza a metodologia geral

recomendada para o controlo de perdas de água e se apresenta a lógica de apresentação dos diversos capítulos da Parte II.

**PARTE I – INTRODUÇÃO E CONCEITOS BÁSICOS**

Introdução, conceitos chave no domínio das perdas de água e principais factores determinantes das perdas de água.

Cap. 1 Cap. 2

**PARTE II – ABORDAGEM DO PROBLEMA**

Abordagem geral ao problema que inclui a avaliação da dimensão do problema, a definição de uma estratégia de controlo de perdas, a implementação de intervenções e a avaliação de resultados.

**PARTE III – A EXPERIÊNCIA PORTUGUESA**

Casos de estudo de Cascais, de Gaia, de Lisboa, de Mafra, de Oeiras e de Santo Tirso.

**BIBLIOGRAFIA**

**GLOSSÁRIO**

**ANEXOS**

Características gerais e critérios de selecção do equipamento de medição de caudais, de registo local de dados e de localização de fugas utilizado no âmbito do controlo de perdas de água.

**APLICAÇÃO COMPUTACIONAL**

Folha de cálculo para apoio à realização de auditorias de perdas. Exemplos de aplicação.

Figura 1 – Estrutura geral do manual

# 2. CONCEITOS E FACTORES DETERMINANTES DAS PERDAS DE ÁGUA

## 2.1 Conceitos fundamentais

**É fundamental clarificar conceitos**

A implementação de uma política de controlo activo de perdas requer o uso de uma linguagem comum entre todos os agentes do processo. Conceitos distintos associados a um mesmo termo ou termos diferentes associados ao mesmo conceito estão frequentemente na base de interpretações e decisões erradas. Nesta secção introduzem-se os principais conceitos básicos associados às componentes do balanço hídrico e a terminologia recomendada. Os conceitos apresentados são os preconizados pela Associação Internacional da Água (IWA) (Lambert *et al.*, 1999; IWA, 2000; Alegre *et al.*, 2004b). Outros conceitos relevantes no contexto das perdas de água constam do Glossário, cuja consulta se recomenda.

**Recomenda-se a terminologia preconizada pela IWA**

Na Figura 2 ilustram-se as principais entradas e saídas de água num sistema de abastecimento típico, por ordem sequencial, desde a captação da água bruta até ao consumo de água pelos clientes. Alguns sistemas serão certamente mais simples, não tendo todas as componentes representadas. Apresentam-se seguidamente as definições dos termos que surgem nesta figura e que são usados quando se faz a análise das perdas. As definições estão expressas em termos de anuais por ser esta a base aconselhável para a realização de auditorias de perdas e por facilidade de exposição, mas podem naturalmente ser adaptadas para outros períodos de tempo:

Água captada: volume anual de água obtida a partir de captações de água bruta para entrada em estações de tratamento de água (ou directamente em sistemas de adução e de distribuição).

Água bruta, importada ou exportada: volume anual de água bruta transferido de ou para outros sistemas de adução e distribuição (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto entre a captação e a estação de tratamento).

Água fornecida ao tratamento: volume anual de água bruta que aflui às instalações de tratamento.

**Água produzida**: volume anual de água tratada que é fornecida às condutas de adução ou directamente ao sistema de distribuição.

*O volume anual de água sem tratamento prévio que é distribuído aos consumidores também* deve *ser contabilizado como* ÁGUA PRODUZIDA.

**Água tratada, importada ou exportada**: volume anual de água tratada transferido de ou para o sistema (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto a jusante do tratamento).

*Caso exista, o volume anual de água sem tratamento prévio que é captado e distribuído aos consumidores também* deve *ser contabilizado como "ÁGUA TRATADA" no contexto do balanço hídrico.*

**Água fornecida à adução**: volume anual de água tratada que aflui ao sistema de adução.

**Água fornecida para distribuição**: volume anual de água tratada que aflui ao sistema de distribuição.

**Água fornecida para distribuição directa**: volume de água correspondente à diferença entre a ÁGUA FORNECIDA PARA DISTRIBUIÇÃO e a ÁGUA TRATADA EXPORTADA (sempre que não seja possível separar a adução da distribuição, a água fornecida para distribuição directa corresponde à diferença entre a ÁGUA FORNECIDA À ADUÇÃO e a ÁGUA TRATADA EXPORTADA).

**Água entrada no sistema**: volume anual introduzido na parte do sistema de abastecimento de água que é objecto do cálculo do balanço hídrico.

**Consumo autorizado**: volume anual de água, medido ou não medido, facturado ou não, fornecido a consumidores registados, a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo para usos domésticos, comerciais ou industriais e à própria entidade gestora. <u>Inclui</u> a ÁGUA EXPORTADA.

*Nota (1): O consumo autorizado pode incluir água para combate a incêndio, lavagem de condutas e colectores, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, alimentação de fontes e fontanários, protecção contra congelação, fornecimento de água para obras, etc..*

*Nota (2): O consumo autorizado inclui as fugas e o desperdício, por parte de clientes registados, que não são medidos.*

Perdas de água: volume de água correspondente à diferença entre a ÁGUA ENTRADA NO SISTEMA e o CONSUMO AUTORIZADO. As perdas de água podem ser calculadas para todo o sistema ou para subsistemas, como sejam a rede de água não tratada, o sistema de adução, o sistema de distribuição ou zonas do sistema de distribuição. Em cada caso as componentes do cálculo devem ser consideradas em conformidade com a situação. As PERDAS DE ÁGUA dividem-se em PERDAS REAIS e PERDAS APARENTES.

Perdas reais: volume de água correspondente às perdas físicas até ao contador do cliente, quando o sistema está pressurizado. O volume anual de perdas através de todos os tipos de fissuras, roturas e extravasamentos depende da frequência, do caudal e da duração média de cada fuga.

*Nota: Apesar das perdas físicas localizadas a jusante do contador do cliente se encontrarem excluídas do cálculo das PERDAS REAIS, são muitas vezes significativas e relevantes para a entidade gestora (em particular quando não há medição).*

Perdas aparentes: esta parcela das perdas contabiliza todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água produzida e da água consumida, e ainda o consumo não-autorizado (por furto ou uso ilícito).

*Nota: Os registos por defeito dos medidores de água produzida, bem como registos por excesso em contadores de clientes, levam a uma subavaliação das PERDAS REAIS. As perdas físicas a jusante do contador do cliente podem contribuir significativamente para o aumento das perdas aparentes.*

Água não facturada: volume de água correspondente à diferença entre os totais anuais da ÁGUA ENTRADA NO SISTEMA e do CONSUMO AUTORIZADO FACTURADO. A ÁGUA NÃO FACTURADA inclui não só as PERDAS REAIS e APARENTES, mas também o CONSUMO AUTORIZADO NÃO FACTURADO.

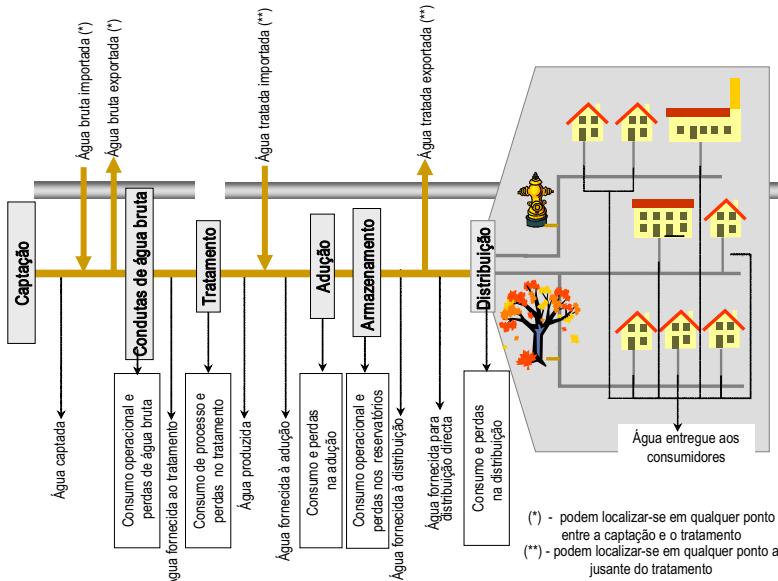



Figura 2 – Componentes do balanço hídrico

## 2.2 Factores que influenciam as perdas de água reais

As perdas de água reais dependem de um conjunto de factores locais que são determinantes em termos dos resultados que poderão vir a ser obtidos pela aplicação de estratégias alternativas para controlo das perdas de água reais. Estes factores deverão ser claramente caracterizados. A sua identificação é determinante para a escolha dos indicadores de desempenho técnico. Segue-se uma lista de possíveis factores que influenciam as perdas reais:

**De que dependem as perdas reais?**

- O estado das condutas e outros componentes, o seu material, a frequência de fugas e de roturas;
- a pressão de serviço média, quando o sistema está pressurizado;
- a densidade e comprimento médio de ramais;
- a localização do medidor domiciliário no ramal;
- o comprimento total de condutas;

- o tipo de solo e as condições do terreno, relevantes sobretudo no modo como se torna aparente ou não a ocorrência de roturas e fugas;
- a percentagem de tempo em que o sistema está pressurizado (factor muito relevante em regiões com abastecimento intermitente).

Estes factores são discutidos detalhadamente em IWA (2000). Realçam-se, pela sua relevância, dois pontos cruciais: a categorização das componentes das perdas reais e a influência das pressões de serviço.

Um entendimento mais aprofundado das perdas reais pode ser obtido identificando as suas componentes:

- Perdas de base – ocorrem através de pequenas fugas, indetectáveis com os equipamentos de detecção correntemente disponíveis; são tipicamente caracterizadas por caudais baixos, longa duração e grandes volumes.
- Perdas por fugas e roturas reportadas – são tipicamente caracterizadas por caudais altos, curta duração e volumes moderados.
- Perdas por fugas e roturas passíveis de identificação através da detecção activa de fugas – são tipicamente caracterizadas por caudais médios e duração e volumes dependentes da política de controlo activo de perdas seguida.
- Fugas e volumes de extravasamento em reservatórios.

## 2.3 Factores que influenciam as perdas de água aparentes

**De que dependem as perdas aparentes?**

As perdas aparentes, relativas a consumos não autorizados e a erros de medição, podem ser devidas a causas variadas. Os factores contextuais a ter em conta dependem na natureza de cada causa.

As perdas aparentes relativas a consumos não autorizados contemplam o estabelecimento e uso de ligações ilícitas e a utilização fraudulenta de marcos e bocas de incêndio, localizadas quer em locais públicos quer particulares.

**Da existência de ligações ilícitas…**

O uso de ligações ilícitas ocorre principalmente em áreas com construção clandestina e em áreas com baixa segurança. Embora o contexto externo inevitavelmente afecte os resultados, a

entidade gestora pode aplicar algumas medidas para mitigar os efeitos destas situações.

… do uso fraudulento de hidrantes,…

O uso fraudulento de bocas de incêndio é um problema que necessita de começar por ser resolvido a nível institucional. Há localidades onde é frequente o procedimento de enchimento de tanques de veículos para rega ou lavagem de ruas nos marcos de incêndio que, à partida, deveriam ser operados exclusivamente pelos serviços de bombeiros. Cabe à entidade gestora agir para alterar estas situações, bem como para garantir a protecção e adequada manutenção de bocas de rega e de incêndio. Há certamente factores contextuais que não são da sua responsabilidade resolver directamente, mas à entidade gestora cabe alertar e tentar influenciar as entidades competentes, por exemplo, propondo procedimentos alternativos.

O sistema de defesa contra incêndio no interior dos edifícios não dispõe de contador, para evitar a ocorrência das respectivas perdas de carga localizadas. É relativamente vulgar a ocorrência de usos fraudulentos dos dispositivos de incêndio destes sistemas. Cabe à entidade gestora definir procedimentos para minorar a probabilidade destas ocorrências, quer ao nível dos equipamentos e soluções construtivas autorizadas quer ao nível dos sistemas de detecção de fraudes.

… e de erros de medição

As perdas aparentes relativas a erros de medição contemplam:

- Erros de medição dos contadores em condições normais de medição;
- erros de medição por deficiente dimensionamento ou instalação;
- erros de leitura ou registo;
- erros de medição por avaria (“natural” ou por violação do equipamento);
- leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores (dentro das habitações).

Como controlar as perdas aparentes?

O controlo das três primeiras causas referidas depende da acção da entidade gestora, não havendo factores contextuais relevantes a assinalar. Nos casos dos erros de medição por avaria, a entidade gestora pode agir para detectar com celeridade as ocorrências e reduzir a sua frequência, embora o contexto externo possa por vezes dificultar a acção. Chama-se a atenção para duas causas habituais de subcontagem significativa: existência de

reservatórios domiciliários que amortecem o diagrama de consumo e fazem com que o caudal que passa no contador seja muito baixo, com erros de medição muito elevados; existência de fugas ou extravasamentos dentro das habitações, a que correspondem consumos expressivos mas constantes no tempo, com caudais instantâneos baixos, susceptíveis de subcontagem. Nestes casos cabe à entidade gestora proceder a acções de sensibilização dos cidadãos e implementar outras medidas de incentivo à mobilização dos clientes como agentes activos do processo.

A última causa de perdas aparentes referida (dificuldade de acesso aos contadores) é dificilmente controlada pela entidade gestora, que poderá estimular a realização de auto-leituras, combinar horários de leitura com os clientes e requerer alterações quando da realização de obras na habitação que incluam os sistemas prediais de água. A telemedição domiciliária a preços competitivos abre novas portas para muitas situações, sendo esta uma delas.

**A auto-leitura deve ser estimulada pelas entidades gestoras**

## 2.4 Dimensões do problema

### 2.4.1 Dimensão económico-financeira

As perdas de água correspondem a água que não é facturada nem utilizada para outros usos autorizados, mas que é captada, tratada, transportada em infra-estruturas de elevado valor patrimonial e com custos de operação e manutenção significativos. A dimensão económico-financeira das perdas de água é assim de grande relevância e constitui em geral a principal motivação das entidades gestoras que levam a cabo iniciativas no domínio do controlo activo de perdas.

**As perdas de água correspondem a perdas de facturação que tendem a ser subestimadas**

Verifica-se, contudo, ser frequente as entidades gestoras não disporem de dados fiáveis sobre o volume anual de água entrado no sistema e, por vezes, também desconhecerem com exactidão o volume de água fornecido aos consumidores. Nestas situações verifica-se uma tendência sistemática para subestimar os indicadores de perdas e, consequentemente, desvalorizar a sua real dimensão económica.

Em Portugal, quando predominava a situação de serem utilizadas captações próprias, sem lugar a pagamentos pelo volume de água captada, e do tratamento se limitar a uma desinfecção por cloragem, as entidades gestoras não estavam sensibilizadas para

a necessidade de controlar as perdas de água, exactamente porque a dimensão económica não era tão aparente e expressiva. Hoje em dia a situação está a alterar-se. Os custos de tratamento da água e de transporte e distribuição em boas condições são elevados, e a racionalização dos gastos passa inevitavelmente pelo controlo das perdas. Verifica-se que a importância económico-financeira das perdas ganhou dimensão acrescida a partir do momento em que muitas entidades gestoras de sistemas de distribuição passaram a adquirir água a entidades produtoras.

**Nos últimos anos, as perdas ganharam dimensão económica acrescida**

A dimensão económica das perdas de água em Portugal pode ser analisada a partir do Quadro 1, que apresenta um valor aproximado de 70 milhões de Euros anuais correspondente a uma redução para metade dos actuais níveis de perdas. Note-se que esta meta não é nada ambiciosa quando comparada com os níveis de perdas existentes hoje em dia em muitos países (ex.: Holanda, Alemanha, Estados Unidos da América).

Quadro 1 – Valor anual aproximado do mercado das perdas de água

| | |
|---|---|
| População residente (hab)(*) | 10 356 000 |
| Capitação total de água (l/hab/dia)(*) | 207 |
| Perdas totais médias (%)(**) | *0,35* |
| Parcela de perdas reais (%)(***) | *0,6* |
| Custos correntes médios (€/m$^3$) (**) | *0,5* |
| Custos de venda médios (€/m$^3$) (*) | 0,53 |
| Percentagem recuperável (%)(**) | *50%* |
| Perdas totais (m$^3$/ano) | 273 856 653 |
| Perdas reais (m$^3$/ano) | 164 313 992 |
| Perdas aparentes (m$^3$/ano) | 109 542 661 |
| Valor do produto recuperável (€/ano) | 82 156 996 |
| Valor de vendas recuperável (€/ano) | 58 057 610 |
| Valor efectivo do produto recuperável (€/ano) | 41 078 498 |
| Valor efectivo de vendas recuperável (€/ano) | 29 028 805 |
| **Dimensão do mercado (€/ano)** | 70 107 303 |

* Fonte: "Abastecimento de água em Portugal – o mercado e os preços", APDA, Julho de 2004.

** Valores estimados pelo LNEC com base em fontes dispersas, algumas informais.

*** Valor médio baseado em estudos internacionais (e.g. Thornton, 2002).

## 2.4.2 Dimensão técnica

Não existem, na prática, redes totalmente estanques. É inevitável existirem algumas fugas ou extravasamentos. Porém, uma rede bem construída e mantida tem poucas perdas. Volumes de perdas reais elevados, mesmo que o valor económico da água perdida possa ser insuficiente para justificar intervir, devem merecer das entidades gestoras grande atenção, já que significam que a rede não está em boas condições.

Em Portugal, o comprimento de rede de distribuição de água teve um aumento enorme durante o último quartel do século vinte. As entidades gestoras concentraram quase toda a sua capacidade de financiamento na construção de novas infra-estruturas, frequentemente fazendo prevalecer a quantidade sobre a qualidade e restringindo as acções de manutenção à reparação de avarias aparentes. Desta situação, compreensível se devidamente contextualizada, decorre uma degradação precoce de muitas dessas infra-estruturas. A avaliação das perdas reais constitui uma forma privilegiada de identificar as situações mais graves a carecer de intervenção. Ao nível técnico é possível intervir em duas vertentes principais:

- Em termos físicos, através de reparações pontuais ou de reabilitação dos sistemas ou de parte destes;
- em termos de operação, minimizando a probabilidade de ocorrência de contaminações exteriores e gerindo as pressões para que estas não sejam mais elevadas do que o necessário à prestação de um bom serviço aos consumidores.

A Figura 3, relativa a roturas em condutas, ilustra um conjunto de resultados de um projecto da American Water Works Research Foundation (Deb *et al.*, 2000; Alegre e Dória, 1998), representados nos dois blocos da direita, comparado com os resultados de um inquérito realizado em Portugal (Figueiredo, 2000), representados no bloco da esquerda.

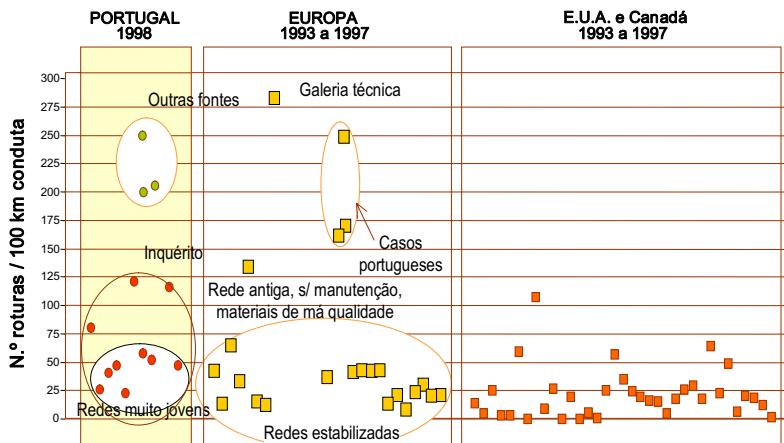



Figura 3 – Roturas em condutas em Portugal, na Europa e na América do Norte

Os casos de estudo europeus correspondem a redes estabilizadas em termos de idades. Sobre os casos de estudo norte-americanos, o LNEC não dispõe de informação. Nos casos de estudo portugueses relativos a redes estabilizadas em termos de idade, a taxa de roturas apresenta valores 500 a 1000% superiores à média europeia ou norte-americana, valores que merecem reflexão aprofundada. Nas redes mais jovens, se as condições de construção e manutenção fossem as desejáveis, seria de esperar que as taxas de roturas fossem significativamente inferiores à média europeia e à média norte-americana. No entanto, verifica-se que os valores encontrados são da mesma ordem de grandeza, ou até ligeiramente superiores, o que indicia uma situação igualmente preocupante.

Estes resultados, embora não se possam considerar estatisticamente representativos, ilustram bem a importância da dimensão técnica das perdas de água em Portugal.

### 2.4.3 Dimensão ambiental

A dimensão ambiental das perdas, actualmente com grande relevância em regiões onde existe escassez de água com qualidade adequada à produção de água para consumo humano, tornou-se muito mais expressiva com a entrada em vigor da Directiva Quadro da Água. De facto, esta Directiva implica o

aumento das restrições para a construção de novas captações, não sendo ambientalmente aceitável reforçar captações existentes ou construir novas se a jusante os níveis de perdas forem elevados. Assim, e independentemente das características físicas e topológicas dos sistemas, interessa à entidade gestora ter uma noção clara da parcela de água que entra no sistema que é perdida por fugas e extravasamentos. Para além da minimização das perdas, a conservação ambiental tem expressão em outras formas de uso eficiente da água, fora do âmbito do presente manual (INAG, 2001).

### 2.4.4 Dimensão de saúde pública

As perdas reais devidas a fugas ocorrem por falta de estanquidade dos sistemas. Assim, os pontos onde existem fugas são potenciais fontes de contaminação da água fornecida aos consumidores. Se a probabilidade de contaminação é baixa quando todo o sistema está pressurizado, com pressões internas superiores às externas, o mesmo não ocorre quando há necessidade de interromper o fornecimento por qualquer razão. Nestas circunstâncias a pressão interna baixa e a probabilidade de ocorrência de contaminações aumenta substancialmente. Note-se ainda que a pressão interna baixa mais rapidamente nos sistemas menos estanques. Assim, mesmo que o valor económico da água perdida não compense o investimento necessário para as reduzir, a dimensão de saúde pública não pode deixar de ser considerada. A adição de desinfectante residual minora os riscos, mas como se sabe hoje em dia esta não é uma solução ideal, sendo melhor actuar na prevenção do que na correcção pós ocorrência.

### 2.4.5 Dimensão social

As perdas de água serão provavelmente os factores de ineficiência das entidades gestoras para os quais a sociedade é mais sensível e está mais alertada, sobretudo quando ocorrem aumentos nos tarifários. Previsivelmente a implementação da Directiva Quadro da Água, que requer (art. 9º) que a tarifa reflicta os custos reais, na sua globalidade, vai implicar aumentos significativos do preço da água em muitos locais do país onde tal ainda não acontece. Por outro lado, as exigências de qualidade da água fornecida ao consumidor também acarretam aumentos de custos, que terão de ser reflectidos nas tarifas. Muito dificilmente uma entidade gestora conseguirá proporcionar uma qualidade de serviço adequada aos consumidores com custos correntes

**A dimensão social das perdas será maior se o custo da água incorporar as perdas**

unitários inferiores a 0,4-0,5 €/m$^3$. Se a estes custos somarmos os de capital, não é expectável obter custos unitários totais inferiores a 0,55 ou 0,60 €/m$^3$ de água facturada. De acordo com APDA (2004), em 16 dos 30 NUTS III existentes em Portugal o preço médio de venda de água (calculado com base num fornecimento de 120 m$^3$/ano) é inferior a 0,55 €/m$^3$. Daqui se conclui a necessidade de aumento de preços de venda de água em muitos municípios portugueses, o que fará crescer a dimensão social das perdas de água. Controlar as perdas de água é assim também uma questão de gestão da imagem externa das entidades gestoras.

Outro aspecto relacionado com a dimensão social das perdas de água prende-se com o papel que o cidadão comum pode ter como agente activo do processo. Se devidamente informado e motivado a participar, pode prestar um auxílio de grande valia na localização de fugas visíveis e na melhor monitorização dos consumos domésticos.

# PARTE II – ABORDAGEM DO PROBLEMA

# 3. GESTÃO DAS PERDAS DE ÁGUA COMO PARTE INTEGRANTE DA GESTÃO DOS SISTEMAS

## 3.1 Nota introdutória

Os sistemas de abastecimento de água constituem infra-estruturas de produção e distribuição de um bem económico de grande valor que é a água para consumo humano. Para que possa atingir os seus objectivos de gestão, qualquer entidade gestora tem necessidade de procurar um elevado grau de eficiência e de eficácia. A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo optimizado para a produção do serviço. A eficácia mede até que ponto os objectivos de gestão, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos. O bom funcionamento de qualquer sistema de distribuição de água pressupõe que os consumidores tenham continuamente à sua disposição, nos locais de consumo, água potável em quantidade suficiente, à pressão adequada e com o menor custo possível. Para que tal seja possível é necessário que as infra-estruturas existentes sejam adequadas, que os recursos naturais disponíveis sejam racionalmente utilizados e que este conjunto seja gerido com eficácia e sustentabilidade.

Depois de estabelecidos os objectivos de qualidade de serviço a atingir, as entidades gestoras devem procurar adoptar continuamente medidas conducentes à minimização do consumo dos recursos naturais (água e energia), financeiros, técnicos e humanos disponíveis para a obtenção daqueles objectivos. A eficiência com que os recursos existentes são utilizados depende, entre outros factores, da forma como os sistemas são planeados, projectados, construídos e geridos, de modo a minimizar os desperdícios. As acções de controlo de perdas de água inserem-se nesta procura de melhoria de eficiência global. Quer as intervenções físicas quer operacionais para controlo de perdas devem ser vistas nesta perspectiva integrada.

Neste capítulo apresentam-se alguns princípios fundamentais a tomar em linha de conta no planeamento, projecto e exploração dos sistemas de abastecimento de água para que se cumpram os objectivos supracitados, tendo em conta que a gestão de perdas de água deve estar em consonância com eles. Compara-se a abordagem tradicional aos problemas de engenharia em

abastecimento de água com a abordagem integrada que mais recentemente tem vindo a ser reconhecida como necessária, fruto de desenvolvimentos tecnológicos e da evolução das prioridades de gestão. Presta-se particular atenção aos aspectos referentes ao planeamento estratégico e gestão de activos, ao projecto e construção, à gestão de clientes, à gestão da informação e à operação e manutenção dos sistemas.

## 3.2 Planeamento estratégico e gestão de activos

Com o progressivo aumento dos níveis de cobertura da população portuguesa, o planeamento e o projecto de sistemas de abastecimento de água incidem fundamentalmente na expansão e na reabilitação de sistemas já existentes.

Um primeiro passo basilar é constituído pela elaboração, actualização sistemática e cumprimento de planos de acção de médio e longo prazo, coerentes com as perspectivas de desenvolvimento da região em causa. Estes planos de acção devem incluir o projecto, a construção e a reabilitação de infra-estruturas, de acordo com as necessidades e disponibilidades identificadas. As soluções deverão ser planeadas de forma integrada, tendo em conta a globalidade do sistema de abastecimento e a envolvente exterior. Para cada entidade gestora, deve ser elaborado, actualizado sistematicamente e cumprido um Plano Director dos sistemas de abastecimento de água, que é um plano de acção de médio e longo prazo correspondente a etapas sequenciais do planeamento, coerentes com as perspectivas de desenvolvimento da região em causa. Este plano deve definir objectivos faseados e acções a executar de modo a atingir esses objectivos. É através deste tipo de instrumentos que o município no seu conjunto pode definir prioridades de expansão e garantir que o crescimento se faz de forma coerente, harmoniosa e eficaz.

O Plano Director deve estar de acordo com o estabelecido nos planos de ordenamento do território, com a caracterização de disponibilidades e de necessidades e com o Plano de Investimentos. Trata-se de um documento programático, que deve especificar os objectivos globais, as áreas de intervenção, as exigências de funcionamento, os requisitos gerais que os sistemas devem satisfazer, as metas a atingir em termos de qualidade do serviço, os condicionalismos financeiros existentes e uma

estimativa preliminar dos custos e prazos previsíveis de execução. Deve estar de acordo com o plano de investimentos.

O planeamento das infra-estruturas deve assentar sobre um previsões realistas das necessidades a curto, médio e longo prazo, em situação normal e em situação de emergência.

Uma vertente crescente do investimento em sistemas de abastecimento de água prende-se com a reabilitação dos sistemas (reabilitação contempla a substituição, a renovação e o reforço de elementos do sistema). Cada tipo de elemento tem uma esperança de vida limitada, sendo necessário programar o conjunto de intervenções físicas que prolonguem a vida do sistema existente e/ou melhore o seu desempenho estrutural, hidráulico e/ou de qualidade da água, envolvendo uma alteração da sua condição ou especificação técnica. Existem hoje em dia procedimentos que ajudam a definir prioridades de actuação, a partir de uma avaliação objectiva do desempenho actual dos sistemas, da previsão da evolução de ocorrência de falhas e da comparação e selecção de cenários alternativos de intervenção (Sægrov *et al.*, 2004).

Condutas e acessórios envelhecidos ou deficientemente mantidos conduzem a perdas de água elevadas. Inversamente, indicadores de perdas elevados indiciam um deficiente estado de funcionamento das redes, funcionando como meio auxiliar de diagnóstico.

Assim, as medidas de controlo activo de perdas devem fazer parte integrante dos diversos instrumentos de planeamento, estando particularmente relacionadas com a reabilitação dos sistemas.

## 3.3 Projecto e construção

### 3.3.1 Concepção tradicionalista

Na visão mais tradicionalista da engenharia civil, os técnicos aprendem a projectar sistemas novos de abastecimento de água com base em procedimentos mais ou menos fixos. Começa-se por definir um horizonte de projecto para a obra, em geral de 40 anos para a construção civil e de 20 anos para o equipamento, a que se segue o cálculo de estimativas para:

- Consumo *per capita* no horizonte de projecto;
- população no horizonte de projecto;

- factores de ponta.

Destes valores resultam os caudais de dimensionamento do equipamento electromecânico, dos reservatórios e das condutas e acessórios. Decidido um *layout*, em geral com base em critérios empíricos, procede-se ao dimensionamento dos diversos componentes. O dimensionamento pode ou não recorrer ao uso de algoritmos de minimização de custos e está sempre associado ao cálculo das condições de equilíbrio hidráulico do sistema para a situação de dimensionamento. Feito o dimensionamento, procede-se a verificações do funcionamento para situações de ocorrência de incêndio e introduzem-se as correcções necessárias.

Neste contexto, a sobreestimação do caudal de dimensionamento era, até alguns anos atrás, encarada como factor de segurança pressupondo como consequência negativa apenas o agravamento dos custos, muitas vezes aceite em nome do aumento de fiabilidade. Na realidade, esta visão representa apenas uma vertente do problema, e verifica-se que sistemas sobredimensionados acabam frequentemente por ter maus desempenhos. Em particular, o sobredimensionamento conduz a velocidades de escoamento baixas, e a qualidade da água pode degradar-se significativamente em face dos elevados tempos de retenção ou de percurso.

A metodologia clássica de dimensionamento exigia pouca utilização efectiva das potencialidades da simulação, utilizada apenas para efeitos de verificação das condições de funcionamento em situações limite, vistas de uma perspectiva estritamente hidráulica.

Nem sempre se explora convenientemente, por exemplo, a melhor localização de reservatórios de percurso ou equilíbrio, e sua combinação com o modo de funcionamento de estações elevatórias, ou o efeito que a localização de reservatórios urbanos pode ter na fiabilidade do sistema de distribuição. A consideração de estudos de consumo de água devidamente fundamentados permite hoje em dia um melhor conhecimento das solicitações e a redução, por exemplo, dos investimentos iniciais em capacidade de armazenamento pelo ajuste do modo de operação das instalações elevatórias às curvas de consumo.

Finalmente, pouca ou nenhuma utilização efectiva é feita de dados históricos de operação, até porque tipicamente estes dados se

encontram dispersos, pouco acessíveis, inconsistentes e organizados de forma demasiada específica, em função do fim primordial a que se destinam, dificultando a partilha de informação. Por exemplo, a existência de dados de medição domiciliária para efeitos de facturação é frequentemente desaproveitada pelos sectores técnicos para cálculos de balanço hídrico ou para os modelos.

### 3.3.2 Factores de mudança

Assiste-se actualmente a um profundo processo de mudança. As principais motivações são as seguintes:

- Reconhecimento da necessidade de adopção de uma visão integrada e pluridisciplinar da gestão dos sistemas, que contemple os aspectos hidráulicos, de qualidade de água, de fiabilidade, de gestão de energia, de recursos humanos, de operação e manutenção, ambientais e sociais, em articulação com os aspectos económico-financeiros.
- Consciencialização da necessidade de garantir bons níveis de serviço durante toda a vida da obra; seja o projecto de sistemas novos, seja o projecto de reabilitação de sistemas existentes, deve ter em vista este aspecto; a identificação e análise dos cenários de operação mais adequados deve ser feita na fase de projecto, o qual deve prever soluções flexíveis, eficientes e eficazes.
- Reconhecimento da importância de avaliar o impacto das alterações nos sistemas existentes, já que à medida que o nível de cobertura da população aumenta, cada vez mais se constroem expansões ou reforços de sistemas existentes, em vez de sistemas totalmente novos.
- Atenção crescente à necessidade de racionalizar investimentos, sobretudo após a entrada de investidores privados no sector.
- Consciencialização crescente relativamente a aspectos ambientais, que se reflecte na necessidade de racionalizar o uso dos recursos naturais, em particular da água e da energia.
- Aumento da relevância técnica e da visibilidade pública, a par de exigências legais cada vez mais restritivas, nas questões relacionadas com a qualidade da água.
- Aumento da acessibilidade e da disponibilidade de equipamento computacional.

- Reconhecimento da necessidade de integrar toda a vasta informação disponível, promovendo a partilha entre sectores e o uso de cada tipo de dados para fins múltiplos, também reflexo da vulgarização do uso de sistemas de informação.
- Aumento progressivo da relevância do papel do cidadão-consumidor, em particular por meio dos órgãos de comunicação social e das organizações não governamentais ligadas aos direitos do consumidor e à defesa do ambiente. Este facto leva as entidades gestoras à demonstração pública de que procuram em cada momento atingir níveis de qualidade de serviço tão elevados quanto lhes é possível, através de formas de expressão adequadas.

Por todo este conjunto de razões, a forma de elaboração de projectos de sistemas de abastecimento de água tem vindo a evoluir e é inevitável que esta tendência de evolução se mantenha.

Os aspectos de operação e manutenção, em geral, e o controlo de activo de perdas, em particular, devem ser explicitamente considerados no projecto. Intervenções físicas decorrentes da necessidade de expansão ou de renovação das redes podem e devem ser aproveitadas para facilitar o controlo activo de perdas. Inversamente, intervenções físicas motivadas especificamente para reduzir perdas devem ser projectadas de modo a trazerem também melhorias de desempenho sob outros pontos de vista.

## 3.4 Operação e manutenção

### 3.4.1 Nota introdutória

É certamente desnecessário referir a importância da coordenação entre quaisquer intervenções físicas para efeitos de controlo de perdas de água e as restantes actividade de operação e manutenção na rede. Nesta secção chama-se a atenção para alguns requisitos actuais de operação e de manutenção nem sempre cumpridos, e para os quais as acções correctivas podem facilmente ser realizadas conjuntamente com a implementação de medidas de controlo activo de perdas.

### 3.4.2 Sectorização das redes

O desenvolvimento dos sistemas de distribuição de água acompanhou quase sempre a lenta expansão dos aglomerados urbanos, com expansões sucessivas de modo a responder às

novas solicitações da sociedade. Como resultado natural, a generalidade das redes existentes são complexas e pouco estruturadas, o que as torna difíceis de gerir. Mesmo quando não é este o caso, a concepção tradicional apontava para o estabelecimento de tantas ligações redundantes quanto possível, a fim de aumentar a fiabilidade da rede. Hoje em dia a tendência consagrada é diferente. Consiste na criação de estruturas modulares interligadas, proporcionando redundância de pontos de abastecimento em caso de necessidade, mas conferindo a cada módulo, ou sector, um funcionamento simples e mais facilmente controlável. A modularização de sistemas existentes pode ser conseguida com alterações que permitam:

**Os sistemas modulares apresentam vantagens efectivas na operação e manutenção**

- Separar a componente de adução da componente de distribuição, em particular quando outros aglomerados populacionais são abastecidos a partir de uma rede de distribuição (ex.: construção do adutor de circunvalação em Lisboa);
- criar andares de pressão independentes quando as diferenças de cotas topográficas o justifiquem;
- sectorizar a rede em zonas de reduzida dimensão.

Este conceito de criação de redes modulares é típico da escola de engenharia anglo-saxónica, e tem vindo progressivamente a ser preconizada internacionalmente.

Por outro lado, o estabelecimento destas zonas de reduzida dimensão (zonas de medição e controlo, objecto da secção 4.3.1) é também uma das medidas mais importantes do controlo de perdas de água.

### 3.4.3 Flexibilização da operação e manutenção

A crescente complexidade da gestão de sistemas de abastecimento de água requer a introdução de equipamentos que confiram flexibilidade de operação, permitindo ajustar o modo de funcionamento à disponibilidade de recursos e às necessidades dos consumidores, com elevado grau de eficiência. Hoje em dia há uma utilização crescente de válvulas telecomandadas, ou comandadas localmente com autómatos, que permitem alterar os circuitos da água ou ajustar pressões ou caudais, contribuindo para melhorar os níveis de serviço ou para melhorar a eficiência em termos de perdas de água ou consumo de energia. O tipo e a localização destes elementos devem ser previstos preferencialmente na fase de projecto, com apoio sistemático de

modelos de simulação. A instalação destes equipamentos será eventualmente faseada, mas as câmaras onde irão ser colocados deverão ser previstas e construídas desde início, pois de contrário os custos marginais (directos, ambientais e sociais) são muito mais elevados. Em muitos casos estes equipamentos são de grande utilidade no contexto do controlo activo de perdas, como por exemplo para gestão de pressões, assunto tratado no Capítulo 7.

### 3.4.4 Inspecção e manutenção de rotina

Diz a sabedoria popular que mais vale prevenir do que remediar. Os resultados que se obtêm com acções concertadas de inspecção periódica são um exemplo paradigmático da veracidade do adágio. Sistemas inspeccionados regularmente e bem mantidos têm naturalmente níveis de perdas de água mais baixos.

Os equipamentos de medição devem ser inspeccionados com regularidade e recalibrados periodicamente.

Todos os marcos de incêndio, bocas de incêndio e de rega e válvulas do sistema de distribuição devem ser inspeccionadas e operadas regularmente. Isto determina se é necessário proceder a reparações, e permite manter as torneiras e válvulas “soltas”, de modo a poderem funcionar facilmente quando necessário.

**O cumprimento de planos de inspecção periódicos traduz-se em níveis de perdas mais baixos**

Para além da inspecção das válvulas que lhe estão associadas, os reservatórios de água também devem ser inspeccionados regularmente com vista a detectar a presença de fissuras ou fendas. É fundamental proceder a limpezas periódicas durante as quais a célula a limpar é totalmente esvaziada. Estas ocasiões devem ser utilizadas para a realização de inspecções mais detalhadas.

As instalações elevatórias requerem revisões periódicas, como qualquer outro equipamento electromecânico. Inspecções mais simples e expeditas, realizadas com maior frequência, permitem detectar anomalias e aplicar procedimentos simples de manutenção, e com menor frequência é necessário proceder a verificações mais pormenorizadas que podem incluir ou não a substituição de peças de desgaste.

As obras de manutenção devem ser cuidadosamente programadas, mesmo que se trate de obras de emergência. Esta programação inclui a articulação com outras entidades com intervenção no subsolo, a preparação na oficina do material que

se prevê ser necessário, incluindo as peças a substituir, todos os utensílios de trabalho, a sinalização e, se aplicável, o equipamento e procedimentos de segurança a utilizar pelos operários. Devem ser cumpridas as disposições de segurança estipuladas no Regulamento de Segurança e Higiene no Trabalho na Exploração dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (Portaria n.º 762/2002, de 1 de Julho), em particular em situações que obriguem à entrada em espaços confinados. Finalizada a reparação, as condutas devem ser lavadas e desinfectadas para evitar o arrastamento de materiais em suspensão para os locais de consumo, ou mesmo a eventual contaminação da água. Os locais de trabalho devem ser mantidos tão limpos quanto possível, removendo sistematicamente o material substituído e o material de aterro excedente. No final da intervenção o local deve ficar em perfeitas condições de limpeza.

### 3.4.5 Medição de caudais

A satisfação da procura dos consumidores em termos de pressões e caudais é o objectivo mais básico de qualquer entidade gestora de sistemas de abastecimento básico. A gestão de caudais é assim uma das actividades de maior importância no contexto da operação dos sistemas. Só sendo possível gerir bem o que se conhece, a medição fiável de caudais em pontos chave da rede é indispensável. A Figura 4 ilustra os principais pontos de controlo de caudal, onde idealmente deveria haver medição fiável. Destes, os principais são os pontos de entrada e de saída de água dos principais subsistemas, incluindo a medição em todos os locais de consumo.

**A fiabilidade da medição de caudal é preponderante no diagnóstico do nível de perdas**

Naturalmente que a medição realizada para efeitos de gestão dos sistemas é de grande utilidade para o controlo de perdas de água. O inverso também é verdadeiro: a informação contida nas medições de caudal feitas para efeitos de controlo de perdas pode e deve ser utilizada para outros fins, tais como, por exemplo, para melhor caracterização dos padrões de consumo em função das características sócio-demográficas e urbanísticas.

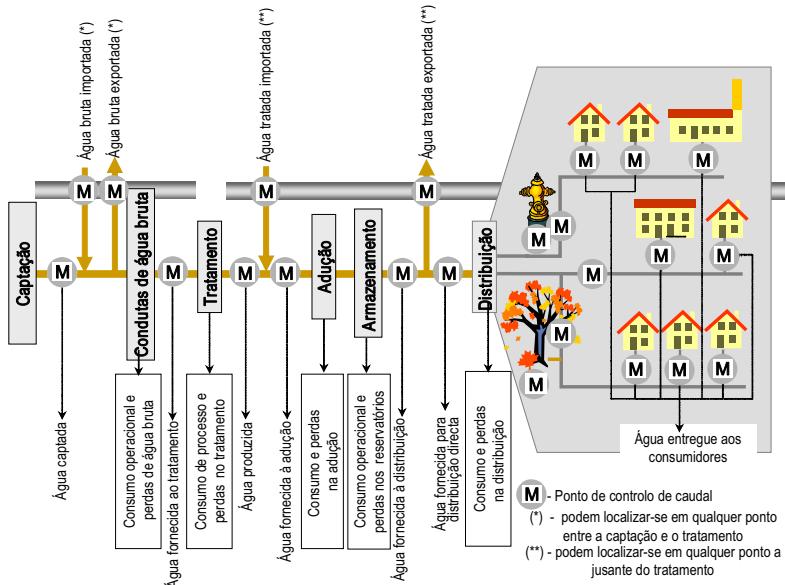



Figura 4 – Componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de controlo de caudal

### 3.4.6 Conservação de energia

O custo de energia, conjuntamente com os custos de água importada (nos casos em que a água tratada é adquirida a outra entidade) e os custos de pessoal, tendem a ser as parcelas mais significativas dos custos globais de operação. A par com o controlo activo das perdas de água, a minimização do consumo de energia para além do estritamente necessário à satisfação das necessidades dos consumidores constitui uma medida fundamental para que a operação seja eficiente e racional em termos económicos e ambientais. Acresce que existe uma interacção significativa entre as medidas para redução de perdas de água e para redução do consumo de energia. Se houver menos perdas, o volume de água a bombear é menor (reduzindo assim o consumo energético); se se reduzir a pressão na rede para redução de perdas de água, e a esta redução corresponderem menores alturas manométricas, também se reduzem simultaneamente os consumos energéticos. Por outro lado, os aspectos de *layout* e de selecção, manutenção e operação de equipamento de elevação que podem ser tidos em conta para

minimizar o consumo global de energia, podem ter também um efeito de redução de perdas de água.

As acções a adoptar com o objectivo específico de minimizar o consumo de energia podem incluir:

- Aspectos de *layout* – a concepção dos sistemas deverá ser pensada de modo a poder fornecer-se ao sistema apenas o acréscimo de energia potencial ou de pressão estritamente necessário para satisfazer as necessidades dos consumidores, evitando sempre que possível a situação de bombeamentos de água seguidos de instalações de perda de carga para perder a energia em excesso.
- Selecção do equipamento – o dimensionamento e a selecção do equipamento de elevação devem permitir ajustar a capacidade de bombeamento às necessidades de cada momento, procurando garantir que os equipamentos se mantenham próximo dos pontos de funcionamento óptimos e com as alturas de elevação necessárias e suficientes.
- Selecção dos modos de operação mais adequados – o recurso à simulação matemática ou mesmo a módulos de cálculo destinados especificamente à optimização de energia permite estabelecer, para os cenários mais prováveis de procura e de disponibilidade de água, quais os modos de operação a adoptar preferencialmente.
- Manutenção do equipamento – acções sistemáticas de manutenção preventiva permitem assegurar que o rendimento dos grupos se mantém elevado.

Podem ainda implementar-se medidas para redução dos encargos financeiros com o consumo de energia, embora neste caso sem relação significativa com as perdas de água:

- Utilização das tarifas de energia mais baixas – tirando-se partido da capacidade de reserva existente nas redes, e criando-se um procedimento fiável para a previsão dos consumos para o(s) dia(s) seguinte(s), é possível concentrar tanto quanto possível os períodos de bombeamento durante a noite, quando as tarifas de consumo energético são mais baixas.
- Estabelecimento e gestão das potências contratadas – uma parcela significativa dos custos de bombeamento refere-se à potência contratada; se o valor contratado for ultrapassado, a penalidade é relevante, mas se estiver sobrestimado, está-se

a despender mais do que o necessário; estabelecido o valor correcto, é preciso tomá-lo em linha de conta nas estratégias de operação adoptadas em cada momento.

## 3.5 Modelação e análise das redes

As redes de distribuição caracterizam-se por serem infra-estruturas tipicamente enterradas e não visitáveis. As deficiências existentes não são por isso facilmente detectáveis de forma directa. Muitas vezes a entidade gestora apercebe-se de que alguma coisa não está bem através de sintomas exteriores tais como a falta de pressão, a falta de água, elevados volumes de perdas, surgimento de água à superfície do terreno, coloração ou turvação da água. A caracterização e o diagnóstico detalhado da situação exigem o uso de instrumentos de apoio.

Quando se projectam expansões aos sistemas existentes é necessário avaliar o impacto no sistema existente. Quando se alteram significativamente as formas de operação, é necessário prever o efeito que essas alterações podem provocar nos clientes, de modo a mitigar eventuais efeitos negativos. O mesmo se aplica ao projecto de obras de reabilitação, que podem e devem ser aproveitadas para introduzir melhorias globais de desempenho, sendo importante comparar alternativas e escolher as que a melhor desempenho global conduzem. A transformação de sistemas densamente emalhados em sistema modulares também é complexa e requer uma análise prévia do sistema sectorizado.

Dado que o funcionamento hidráulico de um sistema com alguma complexidade não é intuitivo, o apoio da modelação matemática é indispensável.

No caso específico do controlo de perdas, o apoio da modelação matemática é particularmente importante no estabelecimento da medição zonada (4.3.1) e de soluções de gestão de pressões (0).

Os modelos de simulação hidráulica constituem os instrumentos computacionais mais utilizados e consagrados no campo do projecto e do diagnóstico de funcionamento de sistemas de distribuição de água, sendo um complemento ao discernimento e experiência dos técnicos envolvidos.

Os modelos matemáticos de simulação hidráulica permitem calcular os caudais nas condutas e as cotas piezométricas na rede. Os simuladores de qualidade da água permitem mesmo calcular para qualquer ponto da rede as concentrações de

algumas substâncias contidas na água, quer essas concentrações sejam ou não dependentes do tempo de retenção dentro das condutas. É também com facilidade que se pode calcular o tempo de percurso da água desde o ponto de abastecimento ao ponto de consumo.

Hoje em dia existem programas de computador que permitem inserir os dados necessários com muita facilidade, através do preenchimento interactivo de formulários claros e sintéticos. Os principais dados necessários são o comprimento, o diâmetro e a rugosidade dos troços de conduta e os consumos e as cotas topográficas nos nós.

Encontra-se actualmente disponível no mercado especializado uma grande variedade de programas de computador para modelação de sistemas de abastecimento de água. A generalidade desses programas oferece capacidades perfeitamente adequadas e muito semelhantes em termos do cálculo dos principais parâmetros hidráulicos e de qualidade da água, situando-se as diferenças sobretudo em aspectos acessórios do cálculo, em capacidades de análise complementar – como a verificação de caudais de incêndio ou o auxílio automatizado à calibração – ou em aspectos ligados à interface gráfica e às capacidades de processamento dos dados de entrada e dos resultados.

Um dos aspectos mais importantes a ter em conta nas soluções destinadas à utilização intensiva em ambiente operacional numa entidade gestora – embora não tão crucial na utilização por projectistas ou consultores – é a capacidade de ligação automatizada a um sistema de cadastro digital, de forma a permitir que as actualizações deste sejam reflectidas no modelo, evitando assim duplicar canais de manutenção cadastral.

Um dos programas mais adequados a uma introdução eficaz à simulação de sistemas de abastecimento é o *programa de computador* EPANET, desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (EUA) e traduzido para língua portuguesa pelo LNEC [1].

---

1 A versão em língua portuguesa pode ser obtida a partir de: `www.dha.lnec.pt/nes/epanet`

As principais razões que motivam esta recomendação são as seguintes:

- O programa adequa-se bem às necessidades actuais de simulação, e está traduzido para português[2];
- é fiável, bem documentado e beneficia de recursos de consulta importantes, como um *newsgroup* muito participado pelos melhores especialistas mundiais [3];
- é de utilização livre e gratuita, não havendo qualquer restrição ao seu uso;
- dispõe, em particular, de boas capacidades para simulação da qualidade da água na rede, com algoritmos publicados e bem documentados;
- é um *standard* mundial cujo formato de dados é lido por muitos dos principais simuladores do mercado – os modelos desenvolvidos neste *programa de computador* podem eventualmente vir a ser transferidos com facilidade para outro *programa de computador*, se for opção da entidade gestora a aquisição, numa fase posterior, de um simulador diferente.

Como foi referido anteriormente, o modelo de um sistema de abastecimento de água é constituído essencialmente pelos dados que descrevem o sistema físico, as solicitações (consumos) e as condições operacionais (estados de instalações elevatórias, válvulas e outros mecanismos de accionamento). É recomendável que os modelos a desenvolver sejam especificados e documentados de forma a torná-los o menos dependentes possível do *programa de computador* utilizado.

A transferência de modelos desenvolvidos no EPANET para outro *programa de computador* é facilitada pela circunstância de a maioria dos principais programas actualmente presentes no mercado importarem directamente os formatos EPANET. No entanto, caso se opte por um *programa de computador* que não tenha a capacidade de ler o formato de dados do programa que for escolhido para o desenvolvimento, deve notar-se que se trata ainda assim de uma tarefa essencialmente logística de transferência dos dados descritivos do sistema físico, das

---

2 A versão portuguesa do manual de utilização do programa EPANET (Rossman, 2004) está publicada na mesma série editorial que o presente manual.

3 Para subscrever, consultar as instruções publicadas no *website* acima citado.

solicitações e das condições operacionais, mantendo o modelo a sua validade depois de transferido para o novo programa.

A opção pelo EPANET permite assim uma abordagem simples e imediatamente disponível ao desenvolvimento dos modelos, sem custos de aquisição, potenciando toda a fase de aprendizagem e formação do *know-how* interno da entidade gestora, sem prejuízo de mais tarde ser tomada uma decisão de cariz mais definitivo, que poderá indicar a manutenção do mesmo *programa de computador* ou a opção por um outro, em função da evolução dos principais sistema de informação da entidade gestora (sistema de telegestão, sistema de informação geográfica, sistema de clientes) e da oferta presente no mercado.

Pelo que atrás foi exposto, não existe justificação para abdicar da utilização de ferramenta tão útil e acessível. No entanto, é necessário distinguir claramente entre o programa de computador e o "modelo da rede X". Se não servir para o desenvolvimento e utilização efectivos de modelos específicos para as redes a gerir, a mera aquisição de um programa sofisticado em si não serve certamente os objectivos de nenhuma entidade gestora. Deve-se ter em conta que a construção e utilização sistemática de um modelo matemático calibrado são tarefas de certa complexidade, que exigem empenhamento e alguma especialização técnica. Sugere-se a consulta de Coelho *et al.* (2005), Walski *et al.* (2003) ou Cesario (1995), que expõem com clareza e sentido prático o modo como se deve construir e usar um modelo de simulação.

## 3.6 Gestão de clientes

Do um ponto de vista da sustentabilidade económico-financeira de uma organização, é fundamental avaliar e manter em níveis baixos a parcela de matéria-prima utilizada que, por uma razão ou outra, não é vendida a clientes. No caso das entidades gestoras de sistemas de distribuição de água, esta parcela corresponde à água entrada no sistema e que não é facturada a clientes, tal como definido em 2.1. Como se verá mais adiante no Capítulo 5, relativo à avaliação do problema, a água não facturada contempla as perdas aparentes, as perdas reais e a água autorizada não facturada (por exemplo, água consumida pela entidade gestora e água para combate a incêndios), sendo as duas primeiras parcelas as mais expressivas.

Identificaram-se em 2.3 as principais causas de perdas aparentes, muitas delas directamente relacionadas com a instalação,

manutenção e leitura de contadores dos clientes domiciliários, bem como com os procedimentos de leitura, processamento dos dados e facturação, actividades no âmbito da gestão de clientes.

A medição e leitura eficientes dos contadores são factores de sucesso para a gestão de clientes

Por seu turno, a contabilização das perdas reais requer a quantificação da água realmente fornecida aos clientes.

Assim, a gestão de clientes, que contempla a leitura de contadores, a facturação e a cobrança, bem como o atendimento e a gestão de clientes, desempenha um papel crucial na gestão das perdas de água.

Manter equipamentos de medição fiáveis e sistemas de leitura, facturação e cobrança eficientes são, assim, objectivos fundamentais da entidade gestora, cuja responsabilidade cabe em grande medida à gestão de clientes.

Acresce ao interesse meramente comercial a importância de defender uma boa imagem da empresa, também em grande medida transmitida através dos contactos com os clientes feitos pelo serviço de gestão de clientes.

As novas tecnologias, utilizando os meios informáticos e a Internet em particular, têm vindo a impulsionar a melhoria da qualidade de serviço ao cliente e da eficiência da entidade.

Tecnologias emergentes, tais como o uso alargado de telemedição domiciliária, continuarão a contribuir para esta melhoria, abrindo também novas oportunidades de venda de serviços (ex.: sistemas de alarme de rotura na rede domiciliária, possibilidade de facturação em períodos adaptados a alugueres de curta duração). Quando este tipo de tecnologia passar do universo dos grandes clientes para a generalidade dos consumidores, abrem-se perspectivas de enorme valia em termos de controlo de perdas. A razão é a possibilidade de passar a ser viável medir de forma fiável e sincronizada o caudal fornecido em qualquer momento a uma dada zona e o caudal que está a ser entregue aos clientes, o que permitirá fazer balanços hídricos de elevada exactidão.

No estado actual da tecnologia, em que os preços de aquisição de contadores e de unidades de transmissão de dados ainda não são claramente competitivos face às soluções tradicionais, estes balanços fazem-se para períodos de tempo alargados, sendo 1 ano o período recomendado pela IWA (IWA, 2000; Alegre *et al.*, 2004b). No entanto, este balanço anual nem sempre é fácil de fazer, se não houver uma adequada gestão da informação no seio

da entidade gestora, que permita consultas cruzadas entre sistemas de informação distintos. A próxima secção aborda este tema.

## 3.7 Gestão da informação

Os principais tipos de sistema de informação hoje em dia utilizados neste sector de actividade são os seguintes:

- Sistemas de gestão de clientes – contêm a informação de base para a facturação, incluindo os volumes de água consumidos por cada cliente;
- sistemas com referenciação geográfica – podem ser sistemas de informação geográfica (SIG), com capacidade para gerir com eficácia elevados volumes de dados alfanuméricos e gráficos referenciados geograficamente, ou assumir formas mais simples; têm em comum o estarem destinados ao arquivo dos dados de cadastro mais relevantes;
- sistemas de telemedição – destinam-se a apoiar a operação quotidiana dos sistemas através da centralização dos dados de caudal, de pressão, de nível de água nos reservatórios, de qualidade da água e do estado de funcionamento de grupos elevatórios e válvulas;
- sistemas de informação para apoio à manutenção – permitem acompanhar as tarefas de manutenção executadas, em particular no que se refere ao estado das ordens de trabalho respeitantes a cada acção; normalmente contém módulos de gestão de "stocks";
- sistemas de informação para apoio aos laboratórios (LIMS, da terminologia inglesa *Laboratory Information Management Systems*) – permitem o acompanhamento das amostras de água desde a sua entrada no laboratório até à emissão do relatório contendo os resultados; permitem arquivar a informação de forma sistematizada para posterior utilização.

As fases de desenvolvimento de qualquer dos tipos de sistema referidos contemplam (Cubillo *et al.*, 1997): identificação das áreas funcionais com necessidade de melhoramento; planificação da implantação; selecção da plataforma adequada; desenvolvimento das aplicações; recolha da informação; verificação e validação dos dados de campo; formação; incorporação na rotina operacional da empresa; manutenção e exploração.

A disponibilidade de meios técnicos e financeiros não é condição suficiente para o sucesso na implementação destas aplicações. É frequente verificar-se que os sistemas desenvolvidos são pouco utilizados no dia a dia. As razões mais comuns são:

Um sistema de informação integrado é um factor de sucesso para a gestão das perdas

- Falta de receptividade dos utilizadores finais por reacção negativa à alteração de rotinas estabelecidas, por falta de preparação técnica, ou por desajuste das facilidades implementadas e das necessidades efectivas;
- excessivo número de variáveis registadas, o que resulta em elevados tempos de resposta do sistema informático e em volumes de dados exagerados e dificilmente manipuláveis;
- complexidade excessiva de alguns procedimentos, acarretando necessidade de formação para tarefas que deveriam ser intuitivas;
- dificuldade de diálogo com outros sistemas de informação.
- Existem, para evitar este tipo de ocorrência, alguns princípios fundamentais a adoptar:

- *Princípio da satisfação do utilizador* – o desenvolvimento de um sistema de informação não é um objectivo em si mesmo, mas apenas um meio para facilitar ou mais bem sustentar as tarefas dos utilizadores a quem se destina; por isso o primeiro passo deve ser a análise detalhadas dos usos pretendidos, dos dados inerentes a cada tipo de uso e dos fluxos de informação envolvidos; o acompanhamento por parte dos utilizadores durante todas as fases de desenvolvimento é imprescindível.
- *Princípio da centralização dos dados* – contrariamente à abordagem tradicional, que fazia corresponder ficheiros de dados específicos a cada aplicação informática (Figura 5), hoje em dia reconhecem-se as vantagens de centralizar os dados das diversas aplicações num único sistema de gestão de bases de dados (SGBD), de onde as aplicações se alimentam; deve partir-se do pressuposto que os dados coligidos com um dado fim devem ser arquivados de modo a poderem ser utilizados por outros utilizadores para quem também sejam relevantes; como é óbvio, a localização física dos dados pode ser dispersa, desde que qualquer utilizador possa aceder a eles de forma simples e eficaz.
- *Princípio da parcimónia* – a definição das funcionalidades de um sistema de informação e das grandezas que irão ser

arquivadas deve ser efectuada de modo a distinguir claramente o fundamental do teoricamente interessante, resistindo à tentação natural de tudo incluir; o sistema deverá ser tão simples quanto possível, mantendo-se suficientemente flexível para permitir posteriores sofisticações que a prática aconselhe.

Figura 5 – Evolução na forma de arquivo e gestão de dados

O sucesso do controlo de perdas depende em grande medida da capacidade de integração da informação no seio da entidade. De facto, a realização de balanços hídricos requer a utilização de informação de cadastro, de operação, de manutenção (ocorrência de roturas) e de facturação. A definição de procedimentos de actuação requer quase sempre o recurso a modelação matemática, que por sua vez também vai buscar dados ao cadastro e à operação e manutenção e ao sistema de clientes. Idealmente, os mecanismos de integração da informação devem ser previstos na fase de concepção da arquitectura dos sistemas

de informação. No entanto, se tal não tiver ocorrido, é ainda muitas vezes possível e desejável introduzir pequenas alterações que tornem possível a consulta cruzada.

# 4. VIAS PARA A ABORDAGEM DO PROBLEMA

## 4.1 Introdução

A redução significativa das perdas de água numa entidade gestora requer um forte empenhamento da administração e da generalidade dos sectores operativos. Iniciativas desenquadradas, de um indivíduo ou de um sector isolado da organização, estão condenadas ao insucesso. É fundamental agir de forma concertada, estabelecendo um ciclo periódico de actuação que passe pela correcta avaliação do problema, pela clara definição de objectivos, pelo estabelecimento e implementação de uma estratégia global de actuação e pela avaliação dos resultados obtidos. Como referido no capítulo anterior, é também indispensável uma boa articulação com outras actividades da empresa, no âmbito de uma estratégia global da organização.

**A leitura deste capítulo é fundamental para um bom uso do manual. Sintetiza a metodologia de controlo de perdas recomendada, desenvolvida nos capítulos seguintes**

A abordagem preconizada contempla uma primeira fase relativa à tomada de decisão estratégica, que deve começar pela avaliação da dimensão do problema através da realização de balanços hídricos, a que se deve seguir o estabelecimento da estratégia de controlo de perdas a adoptar face a essa avaliação. Um dos resultados é a avaliação da dimensão relativa entre perdas reais e perdas aparentes, com vista a identificar as componentes de perdas onde se pode esperar uma melhor relação custo-benefício. A segunda fase contempla a implementação da estratégia de controlo de perdas, que deve abranger duas linhas de acção paralelas, uma relativa às perdas reais e outra às perdas aparentes.

Se se analisarem os factores que afectam os dois tipos de perdas (secções 2.2 e 2.3), verificar-se-á que a generalidade das intervenções para minimização de erros de medição e de consumos não contabilizados são independentes dos procedimentos para minimização de perdas reais. Por esta razão, é possível estabelecer subequipas a trabalhar em paralelo em cada uma destas linhas, embora naturalmente de forma articulada.

**O presente manual incide sobretudo nas intervenções relativas ao controlo de perdas reais**

Em termos técnicos, o controlo de perdas reais é mais complexo que o das perdas aparentes. No caso das perdas aparentes, a estratégia assenta essencialmente na análise do balanço custo-benefício entre o investimento necessário para as reduzir e os benefícios financeiros daí decorrentes. Por esta razão, o presente

manual incide sobretudo nas intervenções relativas ao controlo de perdas reais, como esquematizado na Figura 6.

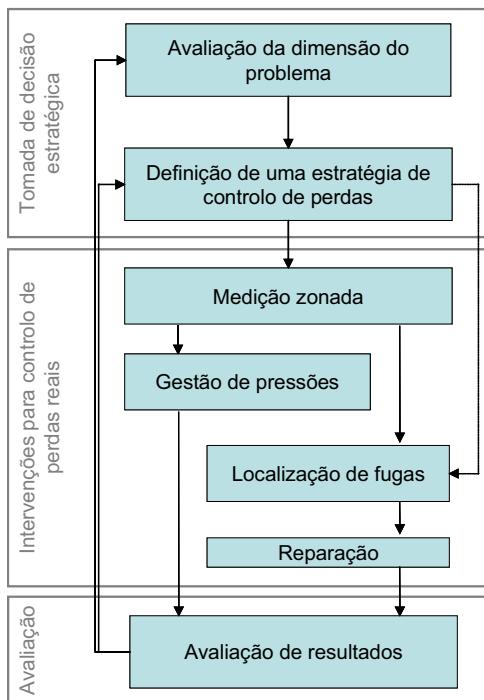



Figura 6 – Fases de abordagem do problema, com ênfase no controlo de perdas reais

A fase de intervenções para controlo de perdas reais tem como componente nuclear a medição zonada, a que se seguem duas vias paralelas e complementares. Em muitos casos, justifica-se e é viável implementar medidas de gestão de pressões, com efeitos significativos sobre todas as perdas reais dependentes da pressão de serviço. Para corrigir as causas das perdas reais, inerentes à condição física da rede, é necessário actuar em termos de localização de fugas e correspondente reparação.

A terceira fase do processo consiste na avaliação dos resultados, em função dos quais poderá ser necessário ajustar a estratégia inicial. Fecha-se assim o ciclo, que deverá ser repetido com carácter sistemático.

A primeira e a última fases têm um carácter pontual no tempo, devendo ser realizadas periodicamente, sendo 1 ano o período típico.

A fase intermédia tem um carácter mais prolongado no tempo, em geral com actividades programadas ao longo de todo o ano.

Os capítulos 5 a 8 do presente manual reflectem directamente as fases de abordagem do problema recomendadas. A Figura 7 ilustra graficamente esta relação.

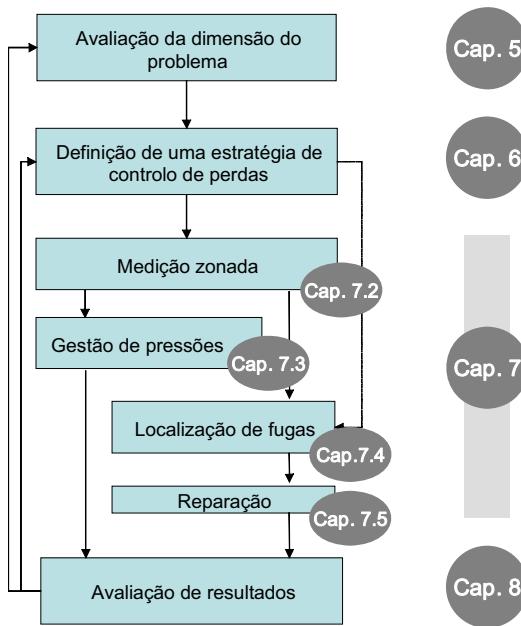



Figura 7 – Relação entre as fases de abordagem do problema e a estrutura do manual

## 4.2 Tomada de decisão estratégica

### 4.2.1 Avaliação da dimensão do problema

A avaliação da dimensão do problema é tratada em detalhe no Capítulo 5. No diagrama da Figura 8 apresentam-se as principais etapas envolvidas.

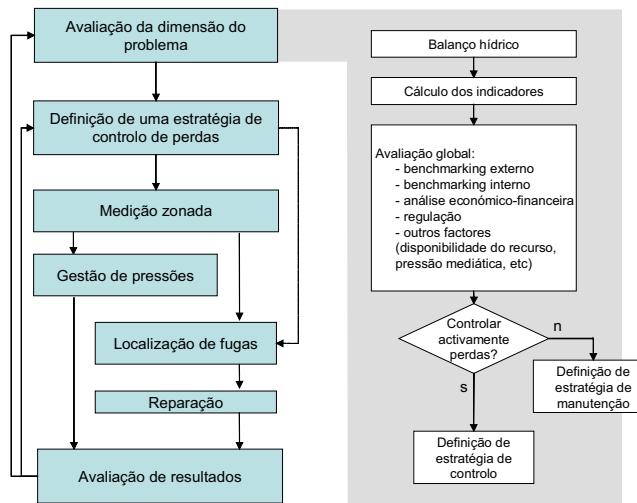



Figura 8 – Avaliação da dimensão do problema

### 4.2.2 Definição de uma estratégia de controlo de perdas

A definição de uma estratégia de controlo de perdas é tratada em detalhe no Capítulo 6. No diagrama da Figura 9 apresentam-se as principais etapas envolvidas.

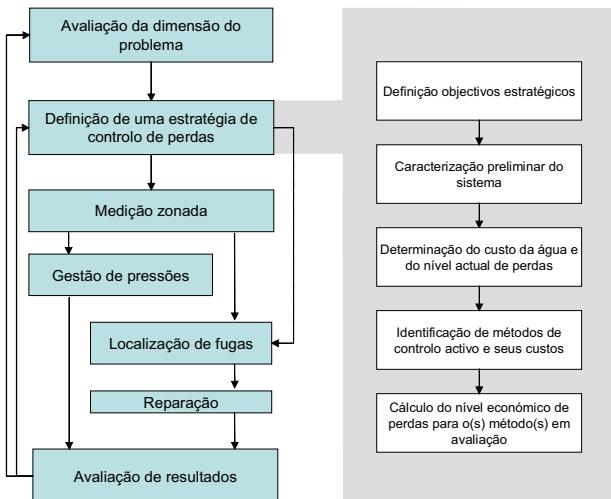



Figura 9 – Definição de uma estratégia de controlo de perdas

## 4.3 Intervenções para controlo de perdas reais

### 4.3.1 Medição zonada

A medição zonada é tratada em detalhe na secção 7.2. No diagrama da Figura 10 apresentam-se as principais etapas envolvidas.

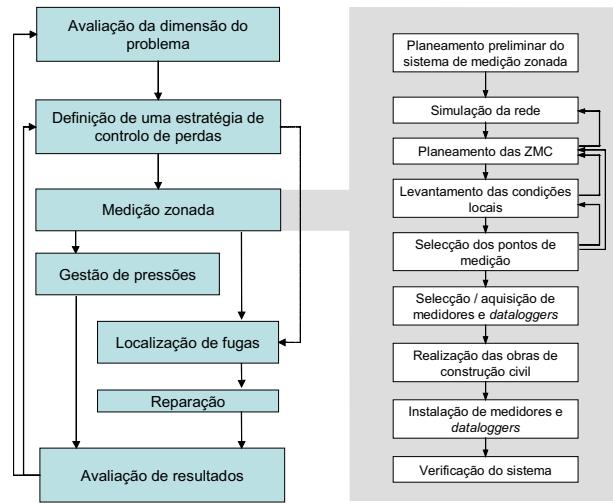



Figura 10 – Medição zonada

### 4.3.2 Gestão de pressões

A gestão de pressões é tratada em detalhe na secção 7.3. No diagrama da Figura 11 apresentam-se as principais etapas envolvidas.

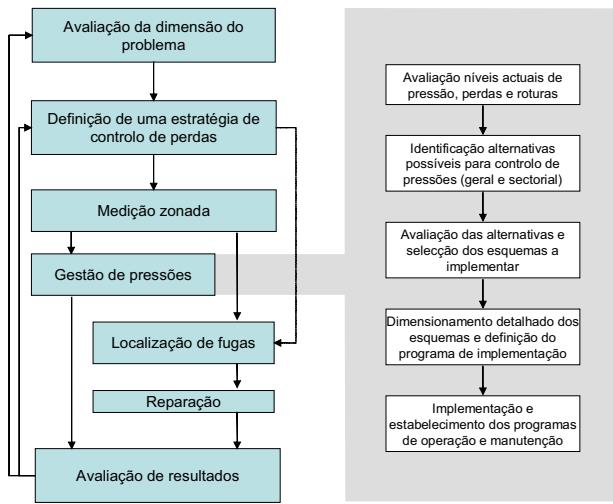



Figura 11 – Gestão de pressões

### 4.3.3 Localização de fugas

A localização de fugas é tratada em detalhe na secção 7.4. No diagrama da Figura 12 apresentam-se as principais etapas envolvidas.

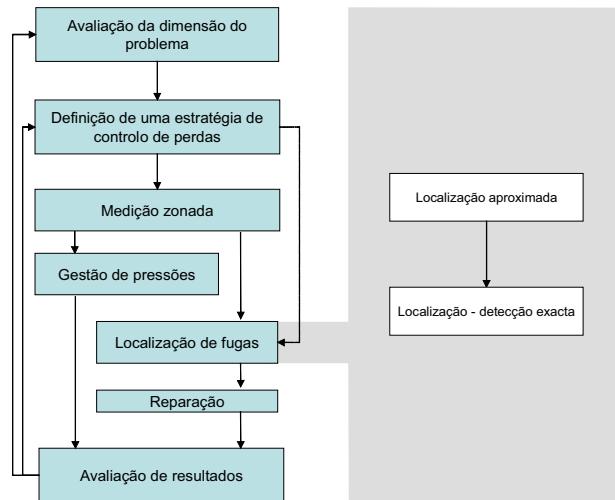



Figura 12 – Localização de fugas

### 4.3.4 Reparação do sistema

A reparação do sistema é tratada em detalhe na secção 7.5. No diagrama da Figura 13 apresentam-se as principais etapas envolvidas.

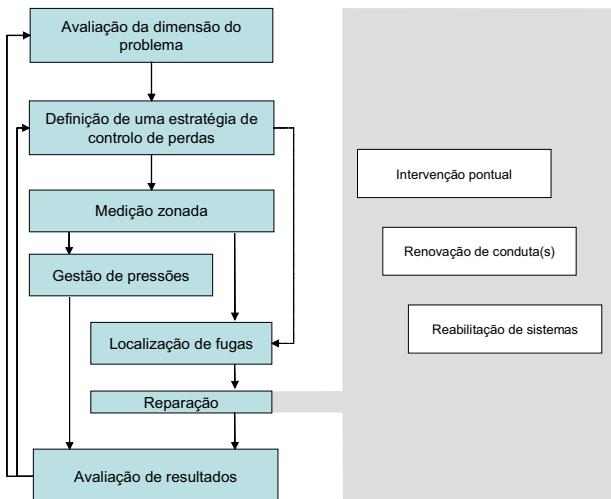



Figura 13 – Reparação do sistema

## 4.4 Avaliação de resultados

A avaliação de resultados é tratada no Capítulo 8. No diagrama da Figura 14 apresentam-se as principais etapas envolvidas.

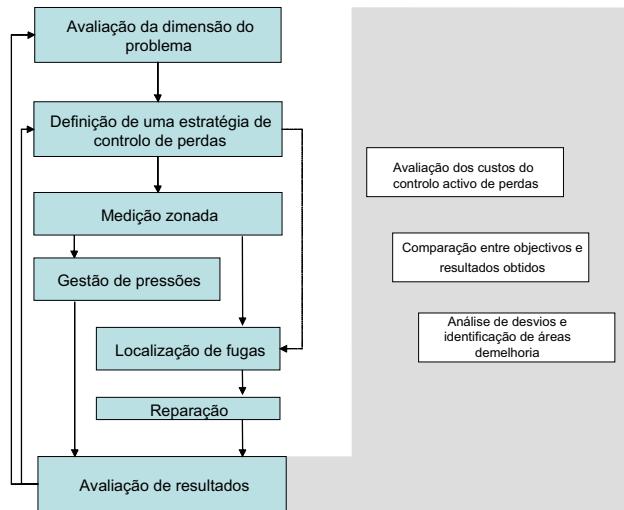
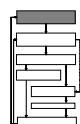
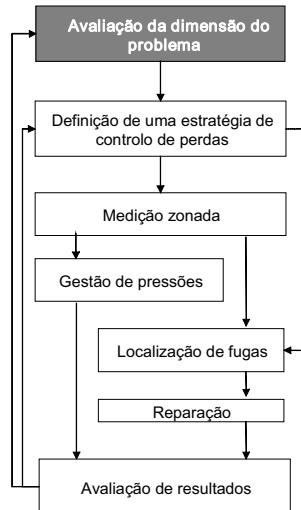



Figura 14 – Avaliação de resultados

# 5. AVALIAÇÃO DA DIMENSÃO DO PROBLEMA

## 5.1 Componentes do balanço hídrico

Dada a proliferação e ambiguidade da terminologia utilizada por entidades diversas, internacionalmente ou até dentro do mesmo país, qualquer análise relativa a perdas de água deverá ser precedida de uma definição clara das componentes do balanço hídrico a considerar, bem como dos dados em que se baseia a sua determinação. No Quadro 2 ilustra-se a forma de cálculo e apresenta-se a terminologia recomendada para o cálculo do balanço hídrico em um ou mais subsistemas de abastecimento de água (por exemplo, redes de água bruta, de adução ou de distribuição). Se existirem dados para o cálculo do balanço hídrico em qualquer outro formato ou com outra terminologia, deverão ser convertidos nas componentes do Quadro 2, em volume por ano, antes de se calcular qualquer indicador de desempenho.

As definições relativas às componentes do balanço hídrico foram já apresentadas em 2.1.

Os passos para calcular a água não facturada e as perdas de água são os seguintes:

Passo 0: Definir os limites exactos do sistema (ou sector de rede) a auditar; definir as datas de referência (definindo um período de um ano).

Passo 1: Determinar o volume de *água entrada no sistema* e introduzi-lo na Coluna A.

Passo 2: Determinar o *consumo facturado medido* e o *consumo facturado não medido* e incluir na Coluna D; introduzir o

total destes como *consumo autorizado facturado* (Coluna C) e como *água facturada* (Coluna E).

**Passo 3:** Calcular o volume de *água não facturada* (Coluna E) subtraindo a *água facturada* (Coluna E) à *água entrada no sistema* (Coluna A).

Quadro 2 – Componentes do balanço hídrico

<table>
<tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr>
<tr><td rowspan="9">Água entrada no sistema<br>[$m^3$/ano]</td><td rowspan="4">Consumo autorizado<br>[$m^3$/ano]</td><td rowspan="2">Consumo autorizado facturado<br>[$m^3$/ano]</td><td>Consumo facturado medido (incluindo água exportada)<br>[$m^3$/ano]</td><td rowspan="2">Água facturada<br>[$m^3$/ano]</td></tr>
<tr><td>Consumo facturado não medido<br>[$m^3$/ano]</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Consumo autorizado não facturado<br>[$m^3$/ano]</td><td>Consumo não facturado medido<br>[$m^3$/ano]</td><td rowspan="7">Água não facturada (perdas comerciais)<br>[$m^3$/ano]</td></tr>
<tr><td>Consumo não facturado não medido<br>[$m^3$/ano]</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Perdas de água<br>[$m^3$/ano]</td><td rowspan="2">Perdas aparentes<br>[$m^3$/ano]</td><td>Uso não autorizado<br>[$m^3$/ano]</td></tr>
<tr><td>Erros de medição<br>[$m^3$/ano]</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Perdas reais<br>[$m^3$/ano]</td><td>Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição<br>[$m^3$/ano]</td></tr>
<tr><td>Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição<br>[$m^3$/ano]</td></tr>
<tr><td>Fugas nos ramais (a montante do ponto de medição)<br>[$m^3$/ano]</td></tr>
</table>

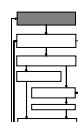
*Nota: O consumo de água por clientes registados que a pagam indirectamente através de impostos locais ou nacionais é considerado como consumo autorizado facturado para efeitos do cálculo do balanço hídrico.*

**Passo 4:** Definir o *consumo não facturado medido* e o *consumo não facturado não medido* na Coluna D; registar o total em *consumo autorizado não facturado* na Coluna C.

**Passo 5:** Somar os volumes correspondentes ao *consumo autorizado facturado* e ao *consumo autorizado não facturado* da Coluna C; introduzir o resultado como *consumo autorizado* (Coluna B).

**Passo 6:** Calcular as *perdas de água* (Coluna B) como a diferença entre a *água entrada no sistema* (Coluna A) e o *consumo autorizado* (Coluna B).

**Passo 7:** Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do *uso não autorizado* e dos *erros de medição* (Coluna D), somá-las e registar o resultado em *perdas aparentes* (Coluna C).

**Passo 8:** Calcular as *perdas reais* (Coluna C) subtraindo as *perdas aparentes* (Coluna C) às *perdas de água* (Coluna C).

**Passo 9:** Avaliar as parcelas das *perdas reais* (Coluna D) usando os melhores métodos disponíveis (análise de caudais nocturnos, dados de medição zonada, cálculos de frequência/caudal/duração das roturas, modelação de perdas baseada em dados locais sobre o nível-base de perdas, etc.), somá-las e comparar com o resultado das *perdas reais* (Coluna C).

Este cálculo associado ao balanço hídrico é explicado em detalhe, na secção 5.11, com um exemplo aplicação.

Recomenda-se que o balanço hídrico seja calculado para um período de 12 meses, de modo a minimizar os efeitos de inevitavelmente haver desfasamentos entre os intervalos de leituras dos diversos medidores de caudal.

Sendo o balanço hídrico calculado para um período de 12 meses, representa a média anual de todas as componentes.

A experiência evidencia que o cálculo completo do balanço hídrico com uma exactidão razoável é particularmente difícil quando para uma parte significativa dos clientes não são feitas contagens. Nesses casos, o consumo autorizado deve ser deduzido a partir de medições em amostras com um número suficiente de ligações

individuais e de subcategorias representativas do ponto vista estatístico. Em alternativa, pode ser avaliado a partir de medição de caudais totais em áreas discretas com uniformidade de utilizadores-tipo, também de várias categorias e subcategorias. No último método, subtraem-se à água entrada no sistema as perdas por fugas, sendo estas determinadas por análise de subcomponentes dos consumos nocturnos e ajustadas de forma apropriada pelas variações diurnas de pressão. O grau de confiança associado ao consumo autorizado deve reflectir o rigor das investigações.

Neste manual apresenta-se a medição do desempenho associado à gestão das perdas de água adoptando três pontos de vista distintos – económico-financeiro, técnico e ambiental. Se os cálculos do balanço hídrico não forem para além do passo 3, como no caso dos balanços hídricos mais simples, tradicionalmente adoptados, o único indicador de desempenho que pode ser calculado é o indicador financeiro "Água não facturada por volume". É, portanto, importante completar o cálculo até ao passo 8 (de preferência até ao passo 9) e, em particular, distinguir, da melhor forma possível, as perdas de água reais das aparentes. Somente esta desagregação permite o cálculo do conjunto de indicadores de desempenho económico-financeiros, técnicos e ambientais.

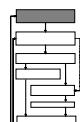
## 5.2 Auditorias anuais de perdas

### 5.2.1 Recolha dos dados necessários

Num processo de auditoria de perdas quantificam-se os volumes de água entrada no sistema, de consumo autorizado (facturado e não facturado, medido e não medido) e de perdas (aparentes e reais). Deve ser realizado de modo sistemático com uma frequência mínima anual e incluir:

- Uma contabilização rigorosa de todos os volumes de água entrados e saídos no(s) sistema(s) em causa;
- o cálculo do balanço hídrico, com base nos registos de consumos existentes no sistema;
- e a verificação do programa de teste e calibração dos medidores de caudal.

A medição fiável dos principais volumes de água geridos deverá, portanto, constituir uma parte integrante das funções de abastecer e distribuir água, sobretudo no que respeita à melhor gestão da

oferta e da procura e à avaliação de perdas. Os dados necessários para o cálculo adequado do balanço hídrico – volumes de água em vários pontos do sistema – são obtidos por medição dos caudais captados, produzidos, aduzidos e armazenados (incluindo os importados e exportados) e entrados ou saídos em cada sector de distribuição. Os pontos de medição ideais estão identificados no esquema da Figura 4 (apresentada em 2.1), devendo sempre que possível recorrer-se a medidores calibrados.

Sem uma medição eficaz e permanente de caudais, as perdas de água apenas podem ser estimadas por modelação (Lambert, 1994) ou eventualmente por métodos directos específicos. Os métodos mais eficientes actualmente utilizados baseiam-se na medição contínua de caudais nocturnos (WRc, WSA e WCA, 1994). Sempre que a medição directa não seja possível, deverão ser envidados todos os esforços para estimar cada componente do balanço hídrico com o maior realismo possível.

### 5.2.2 Fiabilidade e exactidão dos dados

Todos os cálculos de balanço hídrico anual são aproximados, dada a dificuldade em avaliar todas as componentes com a exactidão desejável e sobre a mesma base temporal. A fiabilidade do cálculo tende a ser maior quando os volumes de entrada são adquiridos a outras entidades e quando toda a água distribuída é medida por medidores de clientes bem dimensionados e adequadamente mantidos e calibrados.

Embora a principal finalidade da medição do consumo dos clientes seja a facturação dos caudais vendidos, a exactidão das medidas e a eficácia do sistema de leitura são igualmente de importância crucial para o cálculo dos balanços hídricos. As possíveis causas dos erros de medição incluem: escolha errada do tipo de medidor, dimensionamento incorrecto, instalação inadequada ou mal executada, incrustação, degradação do medidor com a idade, manutenção ou substituição insuficientes e calibração pouco frequente. A ineficácia do sistema de medição poderá ser devida a erros de leitura, ausência de leituras por falha ou por impossibilidade de acesso ao medidor, frequências de leitura demasiado baixas e incoerência dos ciclos de leitura, entre outras causas.

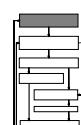
É, assim, importante avaliar, de forma crítica, a exactidão e a fiabilidade de cada componente do balanço hídrico.

De acordo com a terminologia metrológica, a exactidão é a aproximação entre o resultado da medição e o valor (convencionalmente) verdadeiro da grandeza medida. Neste caso, a exactidão contabiliza o erro relativo ao conjunto de processos de aquisição e processamento do dado, incluindo o erro decorrente de eventual extrapolação entre medidas pontuais e o valor global fornecido. Dado que em geral não é viável conhecer com rigor o erro associado a cada dado, mas se conhece com mais facilidade a sua ordem de grandeza, a exactidão dos dados avaliada de acordo com a seguinte classificação em bandas, recomendada pela IWA (Alegre *et al.*, 2004b) e pelo IRAR (Baptista *et al.*, 2004):

Quadro 3 – Bandas de exactidão dos dados

| Banda de exactidão dos dados | Erro associado ao dado fornecido |
|---|---|
| 0 - 5% | Melhor ou igual a ± 5% |
| 5 - 20% | Pior do que ± 5%, mas melhor que ou igual a ± 20% |
| 20 - 50% | Pior do que ± 20%, mas melhor que ou igual a ± 50% |
| 50 - 100% | Pior do que ± 50%, mas melhor que ou igual a ± 100% |
| 100 - 300% | Pior do que ± 100%, mas melhor que ou igual a ± 300% |
| > 300% | Pior do que ± 300% |

A avaliação da qualidade dos dados deve ser complementada com a indicação da fiabilidade da fonte de informação, que reflecte a confiança na fonte dos dados, no seu todo. Recomenda-se a adopção da seguinte classificação:

Quadro 4 – Banda de fiabilidade da fonte de informação

| Banda de fiabilidade da fonte de informação | Conceito associado |
|---|---|
| ★★★ | Dados baseados em medições exaustivas, registos fidedignos, procedimentos, investigações ou análises adequadamente documentadas e reconhecidas como o melhor método de cálculo. |
| ★★ | Genericamente como a anterior, mas com algumas falhas não significativas nos dados, tais como parte da documentação estar em falta, os cálculos serem antigos, ou ter-se confiado em registos não confirmados, ou ainda terem-se incluído alguns dados por extrapolação. |
| ★ | Dados baseados em estimativas ou extrapolações a partir de uma amostra limitada. |

## 5.3 Indicadores do desempenho económico-financeiro

Feita a auditoria de perdas, a dimensão do problema pode ser avaliada através do cálculo de indicadores de desempenho sob as vertentes económico-financeira, técnica e ambiental, seguindo as orientações da IWA (Lambert *et al.*, 1999; Alegre *et al.*, 2004b), complementadas com a análise do ponto de vista de saúde pública e social.

Do ponto de vista económico-financeiro, recomenda-se o uso de um indicador de água não facturada, que poderá ser expresso em termos de volume ou em termos de custo:

***Indicador de água não facturada em termos de volume*** – consiste na discriminação do volume entrado no sistema nas componentes facturado e não facturado, tal como esquematizado na coluna da direita do Quadro 2. A componente não facturada, que inclui o

consumo autorizado mas não facturado, é frequentemente expresso em termos de percentagem do total.

*Indicador de água não facturada em termos de custo* – um verdadeiro indicador de desempenho financeiro necessita de reflectir não só as quantidades mas também os custos. Assim, um indicador mais apropriado (expresso em percentagem) pode ser calculado aplicando valores monetários aos volumes anuais de consumo autorizado não facturado, perdas aparentes e perdas reais.

Um valor monetário adequado para as perdas aparentes e o consumo autorizado não facturado poderá ser o preço médio de venda de água ao consumidor. Para as perdas reais, deverá utilizar-se o maior dos seguintes custos:

(i) Componente variável do custo da água importada;

(ii) custo marginal de longo prazo relativo às origens próprias de água.

Cada uma destas estimativas, e o seu total, deverão então ser expressos como percentagem dos custos correntes anuais. A síntese permite a uma entidade gestora estimar qual o montante correcto a investir para:

- Reduzir o consumo autorizado não facturado;
- reduzir as perdas aparentes – através de melhoramentos na medição e a redução do consumo não autorizado;
- ou reduzir as perdas reais, através da gestão das fugas.

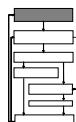
O sistema de indicadores de desempenho estabelecido pelo IRAR inclui o indicador de água não facturada em termos de volume.

Os valores de água não facturada em entidades gestoras concessionárias contam do relatório de avaliação de desempenho do IRAR em www.irar.pt

## 5.4 Indicadores do desempenho técnico

### 5.4.1 Indicadores de desempenho tradicionais

Os indicadores simples e tradicionais que são geralmente utilizados em todo o mundo para comparações do volume anual de perdas reais incluem:

- Percentagem do volume entrado;
- perdas por unidade de comprimento de conduta e por unidade de tempo;
- perdas por consumidor e por unidade de tempo;

- perdas por ramal e por unidade de tempo;
- perdas por comprimento total de condutas e por unidade de tempo (em que o comprimento total de conduta inclui o comprimento de ramal até ao medidor do consumidor).

Deverá notar-se que, como dado de base, o número de ramais é preferível ao número de consumidores servidos, uma vez que uma parcela significativa das perdas reais ocorrem nos ramais e que ao mesmo ramal corresponde frequentemente a um número variável de consumidores.

### 5.4.2 Inconvenientes do uso de percentagens

A percentagem do volume entrado no sistema é o indicador de desempenho técnico relativo a perdas mais utilizado em todo o mundo, por ser aparentemente o de cálculo e interpretação mais simples. Contudo, este indicador tem o grande inconveniente de não tomar explicitamente em linha de conta nenhum dos factores mencionados na secção 2.2. Por esta razão, a IWA considera que as perdas reais expressas como uma percentagem do volume entrado no sistema não constituem um indicador de desempenho técnico apropriado. Tal deve-se, sobretudo, à influência do consumo.

Para ilustrar esta ideia considerem-se os dois sistemas hipotéticos da Figura 15, que do ponto de vista físico são exactamente iguais: possuem a mesma topologia; são compostos por condutas do mesmo material, da mesma idade, com os mesmos diâmetros, no mesmo estado de conservação e com o mesmo número de ramais; e são submetidos aproximadamente à mesma pressão de serviço. Nestas circunstâncias, poder-se-á admitir que o volume de água perdido anualmente por fugas deverá ser idêntico.

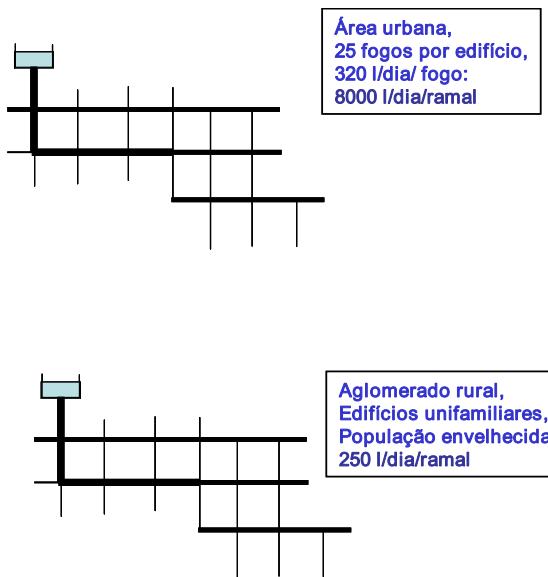



Figura 15 – Redes iguais solicitadas de forma diferente

O indicador percentual de perdas seria dado por:

$$\frac{\text{Perdas reais totais anuais}}{\text{nº de ramais} \times \text{consumo diário/ ramal} \times 365} \times 100 =$$

$$= \text{Perdas reais/ramal l/dia} \times \frac{100}{\text{consumo diário/ ramal}}$$

Dados os pressupostos, o valor de perdas reais por ramal e por dia seria idêntico em ambas as situações. Apenas o consumo diário por ramal seria diferente.

Admita-se agora, por hipótese, que uma das redes abastece vivendas unifamiliares sem jardim, onde habitam em média duas pessoas, com um consumo médio de 260 l/ramal/dia, e que a outra rede abastece edifícios de apartamentos com 25 apartamentos por edifício e um consumo médio de 320 l/fogo/dia (ou seja, 8 000 l/ramal/dia).

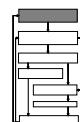
Admitindo, a título de exemplo, um valor de perdas reais de 100 l/ramal/dia, correspondendo a bom desempenho técnico, a percentagem de perdas resultante seria de 40% de o caso da zona de vivendas e de apenas 1% para o caso da zona de edifícios de apartamentos.

Este exemplo, embora exagerado nos seus pressupostos, ilustra bem como a análise da situação através do indicador percentual de perdas levaria erradamente à conclusão de que o sistema da zona de vivendas estava em muito piores condições do que o da zona de edifícios.

Até a comparação ao longo do tempo feita para a mesma rede pode dar lugar a interpretações erradas. Se, por razões de contexto externo (por exemplo climáticas), houver variações de consumo de um ano para o outro, o indicador percentual de perdas apresenta flutuações que nada têm a ver com a melhoria ou a degradação do controlo de perdas.

De notar que as considerações apresentadas nesta secção se referem apenas à utilização da percentagem do volume entrado como indicador do desempenho técnico relativo a perdas; a sua utilidade como indicador ambiental não é posta em causa.

### 5.4.3 Indicadores recomendados

Pelas razões que têm vindo a ser expostas, os dois tipos fundamentais de indicadores de desempenho técnico são os que exprimem as perdas por unidade de comprimento de conduta ou por ramal.

A experiência internacional demonstra que a maior proporção de perdas ocorre nos ramais, e não nas condutas principais, excepto nos casos de baixa densidade de ramais.

O indicador de perdas reais anuais expresso em termos do número de ramais é dado por:

$$\text{Perdas reais (l/ramal/ dia)} = \frac{\text{Volume anual de perdas reais (m}^3\text{/ano)} \times 1000}{\text{\% ano sistema pressurizado} \times \text{nº de ramais} \times 365}$$

A IWA recomenda que se escolha o indicador de desempenho expresso por ramal, em redes que tenham um mínimo de 20 ramais por km. Nos sistemas onde esta condição não se verifica, tais como sejam os sistemas exclusivamente de adução e armazenamento, ou a generalidade dos sistemas rurais, é mais adequado utilizar o indicador de perdas expresso em termos de comprimento de conduta.

Deve notar-se que, no caso do indicador expresso em termos de comprimento de conduta, pode utilizar-se no denominador tanto o comprimento total de condutas apenas (excluindo ramais) como o

comprimento total de condutas e ramais. A segunda opção pode parecer teoricamente mais correcta, mas na opinião dos autores é preferível adoptar a primeira, uma vez que raramente as entidades gestoras dispõem de informação fiável sobre o comprimento total de ramais. Assim, a expressão de cálculo do indicador é a seguinte:

$$\text{Perdas reais (l/km conduta/dia)} = $$
$$= \frac{\text{Volume anual de perdas reais } (m^3/\text{ano}) \times 1000}{\text{\% ano sistema pressurizado} \times \text{comp. de condutas (km)} \times 365}$$

Uma vez que as perdas reais são muito influenciadas pela pressão de serviço, a American Water Works Association (Thornton, 2002) recomenda a adopção de um indicador semelhante mas expresso também por unidade de pressão (unidades de volume por ramal e por unidade de pressão).

É importante comparar o valor do indicador de perdas reais (seja qual for a modalidade escolhida) com o valor do nível económico de perdas reais específico do sistema em causa. O nível económico de perdas é o que corresponde à melhor relação entre o investimento efectuado na estratégia de combate às fugas e extravasamentos e as economias conseguidas com essa estratégia. O modo de determinação do nível económico de perdas encontra-se descrito em Coelho *et al.* (1994) ou em WRC *et al.* (1994). O cálculo deste valor pressupõe capacidade de controlo activo de perdas por parte da entidade gestora e a disponibilidade de dados específicos do sistema. No actual contexto, deve notar-se que muitas entidades gestoras ainda não têm condições de efectuar este cálculo, se bem que seja extremamente importante progredir nesse sentido.

De modo a colmatar as lacunas de informação relativas ao nível económico de perdas e permitir comparações entre sistemas, em IWA (2000) propõe-se que a comparação do indicador de perdas reais seja feita com um valor mínimo de referência, que pode ser calculado a partir de uma equação empírica deduzida a partir dos resultados de um número considerável de estudos experimentais realizados em sistemas bem construídos, operados e mantidos de diversos países (Lambert *et al.*, 1999):

$$\text{Perdas reais mínimas (l/ramal/dia)} = (18 \times \frac{Lm}{Nc} + 0{,}8 + 0{,}025 \times Lp) \times P/10$$

onde,

Lm – comprimento da rede (km)

Nc – número de ramais (-)

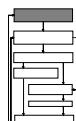
Lp – comprimento médio dos ramais, medido entre a borda da estrada e o ponto de medição de caudal (m)

P – pressão média de operação (kPa)

As variáveis que entram na equação foram deduzidas empiricamente a partir de casos de estudo.

Esta equação considera as seguintes componentes:

Fugas em condutas: 18 l/km de conduta/dia/metro de altura piezométrica

+ fugas em ramais, entre a conduta e o limite de propriedade: 0,8 l/ramal/dia/metro de alt. piezométrica

+ fugas em ramais, entre o limite de propriedade e o contador: 25 l/km de ramal/dia/metro de altura piezométrica

Em geral, sistemas com boa manutenção tendem a apresentar valores deste índice próximos de 1,0, enquanto sistemas com deficiente manutenção apresentarão valores mais elevados.

Os quadros seguintes fornecem valores indicativos mínimos, expressos em função da pressão de serviço e do comprimento médio dos ramais, obtidos a partir da expressão anterior.

Quadro 5 – Valores indicativos mínimos do nível de base de perdas (l/ramal/dia) para edificações localizadas junto à conduta da rede pública (Lp =0)

| Densidade média de ramais (por km de conduta da rede pública) | Pressão de serviço média (m c.a.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| 20 | *34* | *68* | *112* | *146* | *170* |
| 40 | *25* | *50* | *75* | *100* | *125* |
| 60 | *22* | *44* | *66* | *88* | *110* |
| 80 | *21* | *41* | *62* | *82* | *103* |
| 100 | *20* | *39* | *59* | *78* | *98* |

Quadro 6 – Valores indicativos mínimos do nível de base de perdas (l/ramal/dia) para situações com comprimento médio dos ramais de 30 m

| Densidade média de ramais (por km de conduta da rede pública) | Pressão de serviço média (m c.a.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| 20 | 49 | 98 | 157 | 206 | 245 |
| 40 | 40 | 80 | 120 | 160 | 200 |
| 60 | 37 | 74 | 111 | 148 | 185 |
| 80 | 36 | 71 | 107 | 142 | 178 |
| 100 | 35 | 69 | 104 | 138 | 173 |

Para efeitos de comparação do estado físico das redes operadas com pressões de serviço e comprimentos de ramais distintos, a IWA sugere que seja utilizado um indicador adimensional designado por "indicador infra-estrutural de perdas", calculado como a razão entre as perdas reais (l/ramal/dia) e o valor indicativo das perdas reais mínimas (l/ramal/dia), assumido como referência. Valores deste indicador calculados para cerca de 30 casos de estudo em diversos países variam entre cerca de 1 e cerca de 10. Para uma dada rede, bem como para redes equivalentes em termos de número de ramais, quanto mais elevada for a pressão de serviço maiores serão as perdas reais. Ao dividir as perdas reais pelo valor do mínimo de referência, que também depende da pressão de serviço, esse efeito atenua-se e pode considerar-se que a avaliação dos níveis de perdas é menos dependente das pressões de serviço.

Este indicador, que se afigura ter interessante prático, deve todavia ser utilizado com precaução e interpretado apenas como uma ordem de grandeza, não como um valor exacto. É necessário estar-se consciente de que se trata de um indicador de cálculo empírico, que necessitará ser mais amplamente testado. Por outro lado, o valor final varia muito com a pressão de serviço, muitas vezes difícil de avaliar em termos de média anual em todo o sistema, como indicativo. O indicador também é sensível ao comprimento médio do ramal, nem sempre fácil de determinar, particularmente em zonas onde predominar edifícios multi-piso, com contadores colocados a diversos níveis.

## 5.5 Indicador do desempenho ambiental

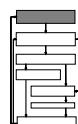
Do ponto de vista ambiental interessa avaliar a pressão exercida sobre os recursos hídricos utilizados devida a perdas reais, ou seja, que se evitaria se não existissem fugas nem extravasamentos. De um ponto de vista ambiental, as perdas aparentes são pouco relevantes, já que na sua maior parte não correspondem a volumes de água efectivamente captados desnecessariamente.

Os valores de desempenho ambiental em entidades gestoras concessionárias constam do relatório de avaliação de desempenho do IRAR em www.irar.pt

O indicador ambiental de perdas recomendado é:

$$\text{Ineficiência no uso dos recursos hídricos}\ (\%) = \frac{\text{Perdas reais}\ (m^3/\text{ano})}{\text{Água entrada no sistema}\ (m/\text{ano})} \times 100$$

Este indicador faz parte do sistema de indicadores de desempenho do IRAR.

## 5.6 Consideração da dimensão de saúde pública

A dimensão de saúde pública pode ser indirectamente tida em conta pelo indicador de desempenho técnico de perdas reais, já que a probabilidade de ocorrência de contaminações é tanto maior quanto mais elevado for o estado de degradação das infra-estruturas.

## 5.7 Consideração da dimensão social

A avaliação da dimensão social pode ser feita através de estudos sociológicos baseados em entrevistas ou inquéritos que permitam conhecer:

- A percepção que os cidadãos têm das perdas de água;
- o grau de aceitação face às perdas da entidade gestora com quem têm uma relação de cliente;
- o papel que desempenham e o que estariam dispostos a desempenhar como agentes activos do sistema de controlo de perdas.

Estes estudos podem ser mais simplificados ou mais complexos. Recomenda-se a elaboração de um primeiro estudo mais completo, seguido de actualizações periódicas, eventualmente feitas através de mecanismos simplificados.

## 5.8 Avaliação global e tomada de decisão

A avaliação global deve contemplar uma análise conjunta dos resultados face a todas as dimensões do problema antes referidas.

Uma forma recomendável de avaliar os resultados é compará-los com:

- Valores anteriores obtidos para o mesmo sistema, analisando a tendência de evolução (só possível a partir do segundo ciclo de cálculo do balanço hídrico);
- valores obtidos para outros sistemas sob a responsabilidade da entidade gestora;
- valores obtidos para outras entidades gestoras;
- valores extraídos da bibliografia.

Recorde-se a este propósito que o sistema de indicadores de desempenho do IRAR contempla dois indicadores de perdas: AA 10 – *Água não facturada* (%) e AA 18 – *Ineficiência da utilização de recursos hídricos* (%). Com a entrada em vigor deste sistema de avaliação em 2005, passará a haver valores de comparação nacionais que podem ser de grande utilidade para esta fase de avaliação global e tomada de decisão.

A Figura 16 ilustra os resultados de um dos indicadores de perdas para um conjunto de entidades gestoras europeias que acordaram entre si comparar o seu desempenho, beneficiando todas de um melhor conhecimento do seu próprio posicionamento relativo. Estes resultados foram obtidos no âmbito do projecto de investigação CARE-W, sobre reabilitação de redes de água, realizado entre 2001 e 2003 com financiamento do 5º Programa Quadro da União Europeia (Sægrov *et al.*, 2004; Alegre *et al.*, 2004a).

A avaliação e tomada de decisão pode ainda ser complementada com outros indicadores de desempenho de entidade gestora, que permitam mais facilmente identificar problemas e áreas de melhoria. Recomenda-se a este propósito a consulta do manual de indicadores de desempenho de serviços de água da IWA (Alegre *et al.*, 2004b) e do “Guia de avaliação de desempenho dos operadores de serviços de águas e resíduos” do IRAR (Baptista *et al.*, 2004).

Indicador: **Op22 - Perdas de água por ramal** ($m^3$ /ramal/ano)

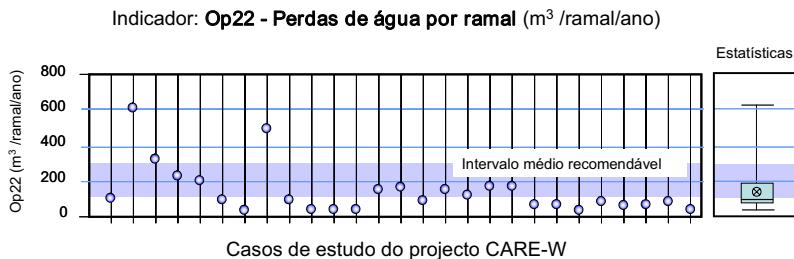
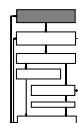



Figura 16 – Comparação entre entidades gestoras europeias para um indicador de perdas de água (Alegre *et al.*, 2004a)

Quadro 7 – Sistema de ID para reabilitação: indicadores de desempenho operacionais

| INDICADORES DE DESEMPENHO OPERACIONAIS |
|---|
| **Reabilitação** |
| Op16 - Reabilitação de condutas (%/ano) |
| Op17 - Renovação de condutas (%/ano) |
| Op18 - Substituição de condutas (%/ano) |
| Op19 - Substituição de válvulas (%/ano) |
| Op20 - Reabilitação de ramais (%/ano) |
| **Avarias e reparações** |
| Op31 - Avarias em condutas (n.º/100 km/ano) |
| Op31a - Avarias em tubagens (n.º/100 km/ano) |
| Op31b - Avarias em juntas (n.º/100 km/ano) |
| Op31c - Avarias em válvulas (n.º/100 km/ano) |
| Op32a - Avarias no ponto de inserção do ramal (n.º/100 km/ano) |
| Op31d - Avarias em condutas críticas (n.º/100 km/ano) |
| Op32 - Avarias em ramais (n.º/1000 ramais/ano) |
| Op33 - Avarias em hidrantes (n.º/1000 hidrantes/ano) |
| Op34 - Falhas de abastecimento eléctrico (horas/estação elevatória/ano) |
| Op5 - Reparações por controlo activo de fugas (n.º/100 km/ano) |
| **Perdas de água** |
| Op23 - Perdas de água por ramal ($m^3$/ramal/ano) |
| Op27 - Perdas reais por ramal (l/ramal/dia) |
| Op29 - Indicador infra-estrutural de perdas (-) |

O sistema de indicadores de desempenho para apoio à reabilitação desenvolvido no âmbito do projecto CARE-W, baseado no sistema de indicadores da IWA, é também adequado neste contexto. Neste caso os indicadores mantêm o código IWA, com uma letra adicional quando correspondem a um indicador modificado ou a uma decomposição do indicador original. A lista de indicadores contemplados é a seguinte (Alegre *et al.*, 2004a), de entre os quais cada entidade deverá seleccionar o subconjunto mais relevante para o seu caso específico.

Quadro 8 – Sistema de ID para reabilitação: indicadores de desempenho económico-financeiros

| INDICADORES DE DESEMPENHO ECONÓMICO-FINANCEIROS | |
|---|---|
| **Custos anuais** | |
| Fi4 | - Custo unitário total (€/m$^3$) |
| Fi5 | - Custos unitários correntes (€/m$^3$) |
| **Investimento anual em condutas** | |
| Fi25a | - Investimento unitário em condutas (€/m$^3$) |
| Fi26a | - Investimento para construção de condutas ou reforço das existentes (%) |
| Fi27a | - Investimento para substituição e renovação de condutas existentes (%) |
| **Preço médio de venda de água** | |
| Fi28 | - Preço médio de venda para consumo directo (€/m$^3$) |
| Fi29 | - Preço médio de venda de água exportada (€/m$^3$) |

Quadro 9 – Sistema de ID para reabilitação: indicadores de desempenho de qualidade de serviço

| INDICADORES DE DESEMPENHO DE QUALIDADE DE SERVIÇO |
|---|
| **Serviço** |
| QS10 - Adequação da pressão de serviço (%) |
| QS13 - Interrupções de fornecimento (%) |
| QS14 - Interrupções por ramal (n.º/1000 ramais/ano) |
| QS14a - Interrupções críticas por ramal (n.º/1000 ramais/ano) |
| QS16 - População sujeita a restrições ao uso de água (%) |
| QS17 - Dias com restrições ao uso de água (%) |
| QS18 - Qualidade da água fornecida (%) |
| QS19 - Qualidade organoléptica (%) |
| QS19a - Qualidade organoléptica - gosto (%) |
| QS19b - Qualidade organoléptica - cor (%) |
| QS20 - Qualidade microbiológica (%) |
| QS21 - Qualidade fisico-química (%) |
| **Reclamações de clientes** |
| QS26 - Reclamações de serviço por ramal (n.º reclamações/1000 ramais/ano) |
| QS28 - Reclamações sobre a pressão (%) |
| QS29 - Reclamações sobre a continuidade do serviço (%) |
| QS30 - Reclamações sobre a qualidade da água (%) |
| QS30a - Reclamações sobre o gosto da água (%) |
| QS30b - Reclamações sobre a cor da água (%) |
| QS31 - Reclamações sobre restrições ou interrupções (%) |
| QS31a - Reclamações sobre interrupções críticas (%) |

Quadro 10 – Sistema de ID para reabilitação: indicadores de desempenho infra-estruturais

| INDICADORES DE DESEMPENHO INFRA-ESTRUTURAIS |
|---|
| WR1 - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%) |
| WR2 - Disponibilidade de recursos hídricos (%) |

Quadro 11 – Sistema de ID para reabilitação: indicadores de desempenho infra-estruturais

| INDICADORES DE DESEMPENHO INFRA-ESTRUTURAIS | |
|---|---|
| Ph3 | - Capacidade de reserva de água tratada (dias) |
| Ph8 | - Densidade de válvulas (n.º/km) |

## 5.9 Aplicação computacional para cálculo do balanço hídrico e dos indicadores de perdas de água

No âmbito do presente manual foi desenvolvida pelo LNEC uma aplicação computacional destinada ao cálculo do balanço hídrico e dos indicadores de perdas atrás apresentados, recomendados pela IWA. A aplicação foi desenvolvida em Microsoft® Excel®, encontra-se disponível no site www.irar.pt e contém:

- Uma folha de rosto;
- uma folha de instruções para facilidade de uso, apesar de ser tanto quanto possível auto-explicativa;
- 3 folhas de resultados (um quadro semelhante ao Quadro 2 com as componentes do balanço hídrico, uma tabela com o cálculo detalhado de todos os indicadores e um quadro de síntese);
- 6 folhas de introdução de dados;
- uma folha de opções de configuração.

**Para ter acesso a um ficheiro de cálculo do balanço hídrico visite www.irar.pt**

A Figura 17 ilustra a janela com a folha de rosto e dá uma visão parcial das janelas de resultados. Uma inovação relevante que esta aplicação introduz, face a outras correntemente utilizadas por entidades gestoras e consultores privados, consiste no cálculo da banda de incerteza dos resultados a partir da indicação da banda de exactidão dos dados. Na secção seguinte, 5.10, é detalhado o procedimento deste cálculo.

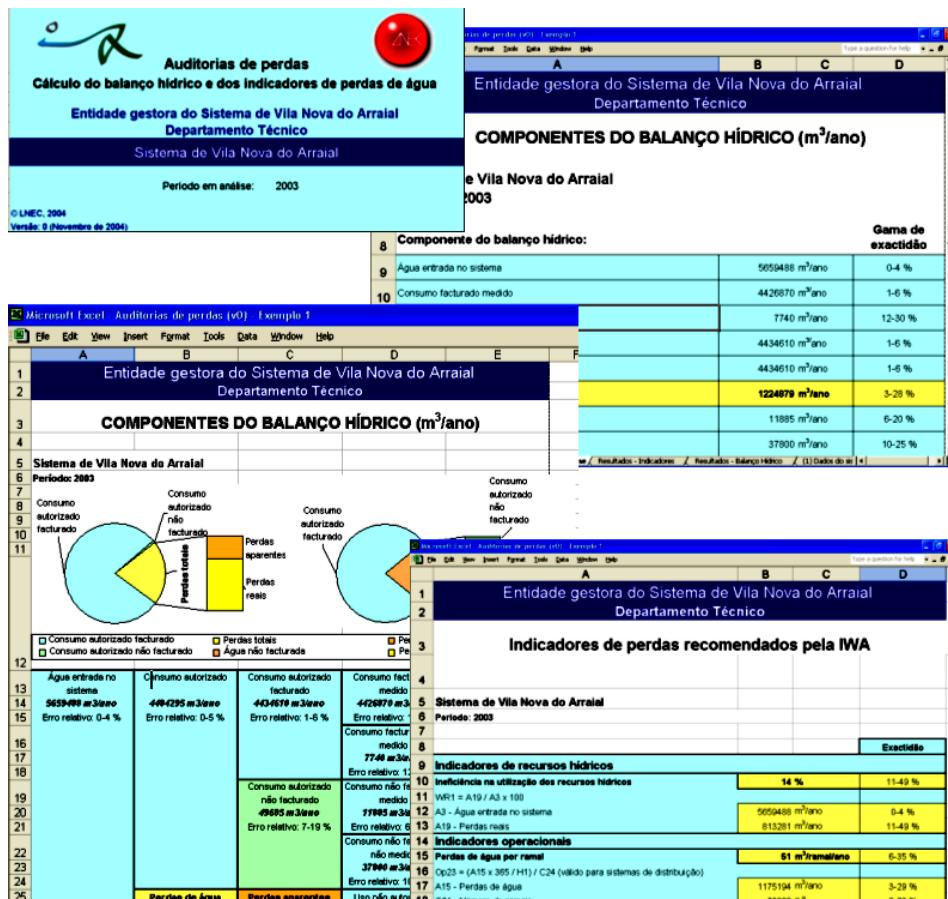
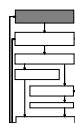



Figura 17 – Janela de entrada e janelas de resultados

A Figura 18 mostra parcialmente as janelas de introdução de dados. Os dois exemplos apresentados na secção 5.11 permitem ver em detalhe como se pode usar a aplicação. Estes exemplos estão também disponíveis no site do IRAR.

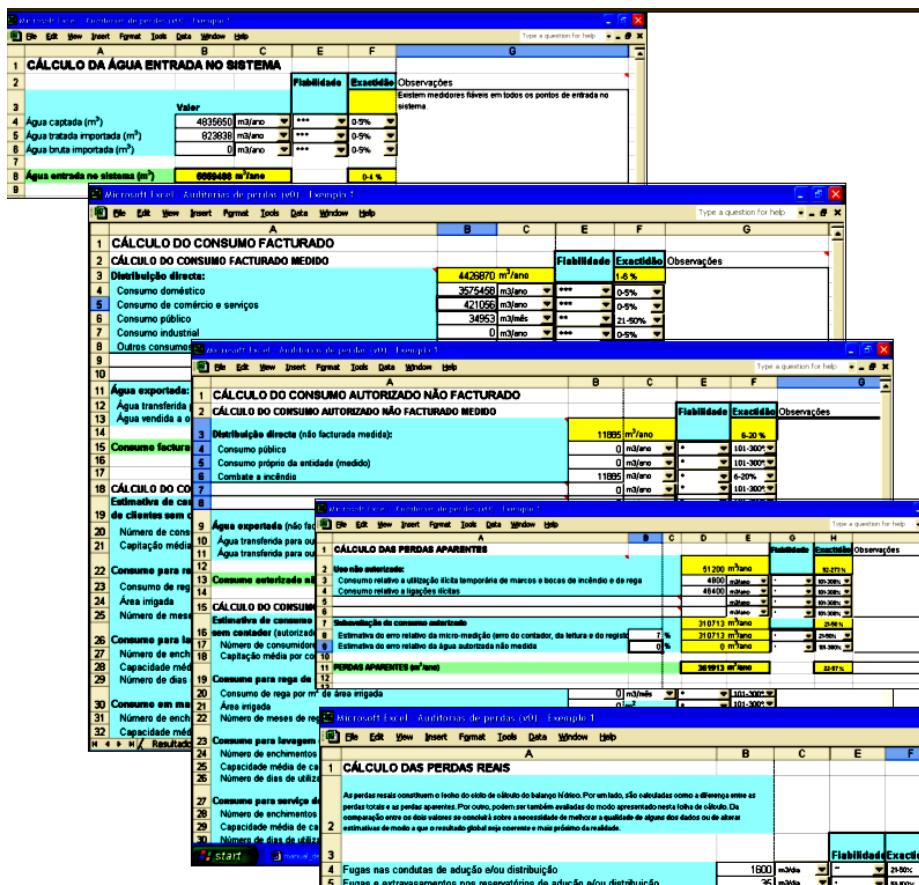
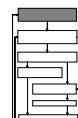



Figura 18 – Janelas de entrada de dados

Finalmente, na Figura 19 apresenta-se a janela que permite alterar algumas opções de configuração:

- Lista de unidades de caudal admissíveis;
- lista de bandas de fiabilidade;
- lista de bandas de exactidão;
- selecção sobre o método de propagação da incerteza dos dados.

OPÇÕES DE CONFIGURAÇÃO

Classes de fiabilidade e de exactidão

| Classes de fiabilidade | |
|---|---|
| ••• | Dados baseados em medições exaustivas, registos fidedignos, procedimentos, investigações ou análises adequadamente documentadas e reconhecidas como o melhor método de cálculo. |
| •• | Dados baseados em estimativas ou extrapolações a partir de uma amostra limitada, mas com algumas falhas não significativas nos dados, tais como parte da documentação estar em falta, os cálculos serem antigos, ou ter-se confiado em registos não confirmados, ou ainda terem-se incluído alguns dados por extrapolação. |
| • | Dados baseados em estimativas ou extrapolações a partir de uma amostra limitada. |

| Classes de exactidão | |
|---|---|
| 0-5% | Melhor ou igual a ± 5% |
| 6-20% | Pior do que ± 5%, mas melhor que ou igual a ± 20% |
| 21-50% | Pior do que ± 20%, mas melhor que ou igual a ± 50% |
| 51-100% | Pior do que ± 50 %, mas melhor que ou igual a ± 100% |
| 101-300% | Pior do que ± 100%, mas melhor que ou igual a ± 300% |

Conversão de unidades de caudal para m³/ano

| Unidade | Factor de conversão |
|---|---|
| l/s | 31536 |
| m³/h | 8760 |
| l/dia | 0.365 |
| m³/dia | 365 |
| m³/mês | 12 |
| m³/ano | 1 |

Opções de cálculo de erros

A execução de operações aritméticas entre números com determinadas margens de erro provoca a propagação desses erros para os resultados. No cálculo do balanço hídrico, os erros inerentes a cada componente pode ser muito diferenciado entre si, já que algumas parcelas decorrem de medições muito fiáveis, enquanto outras (por exemplo os consumos ilícitos) são, pela sua natureza, muito pouco fiáveis.

Esta aplicação permite calcular a banda de exactidão dos erros relativos de cada componente do balanço hídrico e dos indicadores de desempenho das perdas em função da banda de exactidão dos dados de entrada.

No caso de somas e subtracções, o cálculo do erro absoluto do resultado pode ser feito pela soma do módulo dos erros absolutos das parcelas ou pela raiz quadrada da soma dos quadrados dos erros absolutos das parcelas. No caso de multiplicações e de divisões, o calculo é semelhante desde que se usem erros relativos em vez de absolutos: o resultado pode ser feito pela soma dos erros relativos das parcelas ou pela raiz quadrada da soma dos quadrados dos erros relativos.

O utilizador deve escolher a opção preferida. A segunda opção é a mais utilizada hoje em dia, conduz a menores incertezas e tende a

Observações

Opção escolhida:

○ Propagação de erros baseada em médias aritméticas = soma erros parcelares

◉ Propagação de erros baseada em médias geométricas = raiz quadrada da soma dos quadrados dos erros parcelares

Figura 19 – Janela de opções de configuração

## 5.10 Avaliação da incerteza dos resultados

Nesta secção apresenta-se o modo como as entidades gestoras poderão calcular a incerteza das componentes do balanço hídrico e dos indicadores de desempenho a partir da incerteza dos dados. A metodologia descrita é a que está implementada na aplicação referida na secção anterior, pelo que a exposição que se segue é apenas relevante para quem pretenda compreender exaustivamente a aplicação ou implementar cálculos semelhantes noutra instância. São também estes os princípios adoptados pelo IRAR para cálculo da incerteza dos indicadores usados para efeito de regulação da qualidade de serviço.

Na secção 5.2.2 introduziu-se a noção de fiabilidade e de exactidão dos dados, indicando que para cada dado a utilizar no cálculo do balanço hídrico deverá ser explicitada a banda de exactidão correspondente. Referiu-se então que a exactidão é a aproximação entre o resultado da medição e o valor (convencionalmente) verdadeiro da grandeza medida. Pode ser

expressa em termos de incerteza absoluta ou relativa (razão entre a incerteza absoluta e o valor médio das medições).

O cálculo do balanço hídrico e dos indicadores de desempenho resulta de operações algébricas simples (somas, subtracções, produtos e divisões) entre essas variáveis. A incerteza dos dados propaga-se aos resultados, de modo distinto consoante as operações em causa. Seguidamente apresenta-se o modo de propagação da incerteza para cada uma das operações referidas, finalizando-se com a expressão geral a utilizar em funções mais complexas, de que estas são um caso de aplicação simples.

### Caso da soma

Na soma, a incerteza do resultado é igual à soma geométrica das incertezas absolutas das parcelas.

Exemplifique-se com a soma:

$$C = A+B \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Então, se atendermos às incertezas de A e de B, expressas em termos dos respectivos desvios-padrão $\sigma_A$ e $\sigma_B$, teríamos que:

$$\sigma_C^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 \qquad \text{(Eq. 2)}$$

Esta expressão é válida para admitindo a hipótese simplificativa de que os erros se distribuem estatisticamente de acordo com uma lei normal e admitindo que a incerteza é igual a $1.\sigma$ (incerteza padrão, correspondente a um grau de confiança de 68%). É também frequente admitir que a incerteza pode ser igual a $2.\sigma$ (correspondente a um grau de confiança de 95%; incerteza padrão = incerteza/2) ou a $3.\sigma$ (correspondente a um grau de confiança de 99%; incerteza padrão = incerteza /3).

Usando um raciocínio semelhante para os casos das restantes operações algébricas, e usando as mesmas hipóteses simplificatvas, obtêm-se os resultados seguidamente apresentados.

### Caso da subtracção

Na subtracção, o erro absoluto do resultado é também igual à soma geométrica dos erros absolutos das parcelas. Se:

$$C = A-B$$

Então, sendo $\sigma_C$ , $\sigma_A$ e $\sigma_B$ os desvios padrão respectivos:

$$\sigma_C^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 \qquad \text{(Eq. 3)}$$

Notem-se algumas importantes propriedades decorrentes do facto das incertezas do resultado serem iguais na soma e na subtracção. Se A e B forem positivos:

- A incerteza relativa do resultado é menor no caso das somas do que nas subtracções;
- ao fazer somas, a incerteza propaga-se no sentido de uma redução face à incerteza das parcelas;
- ao fazer subtracções, a incerteza propaga-se no sentido de um aumento face à incerteza das parcelas.

### Caso do produto

No produto, a incerteza relativa do resultado é igual à soma geométrica das incertezas relativas dos factores. Se:

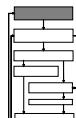
$$C = A \times B$$

Então, sendo $\overline{A}$, $\overline{B}$ e $\overline{C}$ os respectivos valores médios das medições:

$$(\sigma_C/\overline{C})^2 = (\sigma_A/\overline{A})^2 + (\sigma_B/\overline{B})^2 \qquad \text{(Eq. 4)}$$

### Caso da divisão

Na divisão, a incerteza relativa do resultado é também igual à soma geométrica das incertezas relativas dos factores. Se:

$$C = A / B \qquad \text{(Eq. 5)}$$

Então:

$$(\sigma_C/\overline{C})^2 = (\sigma_A/\overline{A})^2 + (\sigma_B/\overline{B})^2 \qquad \text{(Eq. 6)}$$

Verifica-se assim que a incerteza se propaga do mesmo modo nas multiplicações e nas divisões, aumentando em ambos os casos.

### Expressão genérica de propagação de incerteza

Desde que se possa admitir a hipótese dos erros se distribuírem de acordo com uma lei normal, a expressão genérica de cálculo de propagação de incerteza para uma função z = f (w,x,y,…) é:

$$\sigma_z^2 = \sum_{i=1}^{N} \left( \frac{\partial f}{\partial w_i} \right)^2 \sigma_i^2 \qquad \text{(Eq. 7)}$$

Ou seja:

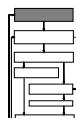
- Para cada variável:
  - Calcula-se a derivada parcial da função relativamente a essa variável;
  - Multiplica-se pelo desvio padrão respectivo.
- Faz-se a soma geométrica das parcelas relativas a cada uma das variáveis para obter a incerteza do resultado.

A (Eq. 7) corresponde a admitir que as incertezas das diversas variáveis da função são independentes entre si, hipótese que de uma forma geral se aplica ao caso em análise. No caso mais geral, a expressão a adoptar seria:

$$\sigma_z^2 = \sum_{i=1}^{N} \left( \frac{\partial f}{\partial w_i} \right)^2 \sigma_i^2 + 2\sum_{i=1}^{N} j \sum_{j=i+1}^{N} \frac{\partial f}{\partial w_i} \frac{\partial f}{\partial w_j} \rho_{ij} \qquad \text{(Eq. 8)}$$

Onde $\sigma_i^2$ é a variância de $w_i$ e $\rho_{ij}$ é o coeficiente de correlação entre $w_i$ e $w_j$.

## 5.11 Exemplos de aplicação

### 5.11.1 Nota introdutória

Os exemplos que se apresentam são fictícios. Os nomes não correspondem a localidades reais. Os dados são parcialmente baseados em situações reais, embora tenham sido introduzidas alterações por razões didácticas.

O exemplo 1 baseia-se na análise do sistema do município fictício de “Vila Faia”, o qual tem uma componente urbana, que engloba a sede de concelho e outras localidades de menor dimensão, e uma componente mais rural, embora com pouca expressão. Neste município, começou a ser realizado controlo activo de perdas há

cerca de 3 anos. O valor inicial de água não facturada em termos de volume – único indicador para o qual havia informação minimamente fiável – era da ordem de 40%. A entidade gestora começou por investir em medição fiável, quer controlando todos os pontos de entrada de água no sistema, quer renovando o parque de contadores previamente existente, quer ainda instalando novos contadores com vista a eliminar as facturações por estimativa. Mesmo nos casos em que o fornecimento de água não implica pagamento (caso particular das corporações de bombeiros), passou a fazer-se a contabilização dos volumes fornecidos através da colocação de medidores de caudal em pontos privilegiados de enchimento de autotanques e da contagem de enchimentos realizados a partir de marcos de incêndio colocados na via pública.

Em termos do estado de conservação, trata-se de um sistema relativamente antigo, mas objecto de intervenções de reabilitação significativas nos últimos anos. Em particular, tem vindo a ser feita a substituição da grande maioria dos ramais, anteriormente de chumbo, por razões de saúde pública (consagradas na legislação de qualidade da água para consumo humano actualmente em vigor). Os reservatórios também foram objecto de obras de conservação recentes. A rede em si ainda apresenta algumas deficiências, manifestadas por exemplo numa taxa de avarias em condutas de cerca de 80 avarias/100 km de condutas e por ano (o valor máximo recomendado pelo IRAR é de 30 avarias em conduta / 100 km / ano).

O exemplo 2 baseia-se num subsistema urbano do município fictício de "Sta Bárbara". Trata-se de uma rede significativamente mais pequena do que a anterior, construída em fibrocimento há cerca de 40 anos. É um sistema gravítico, sem órgãos de comando relevantes, pelo que a operação é simples. Tem sido praticada apenas manutenção reactiva, concretizada na reparação de roturas aparentes ou de outras deficiências detectadas através de reclamações dos consumidores. Não existem registos estruturados de ocorrência de avarias, mas uma contagem feita durante um mês leva a crer que a taxa anual seja provavelmente superior a 150 avarias por 100 km de conduta e por ano. O parque de contadores tem sido renovado, embora com uma taxa um pouco inferior à legalmente estabelecida. A entidade gestora pretende avaliar a situação e verificar se se justifica implementar uma estratégia de controlo activo de perdas.

### 5.11.2 Exemplo 1 – Sistema do Município de Vila Faia

Apresenta-se seguidamente a elaboração de uma auditoria de perdas no sistema de distribuição de água do Município (fictício) de Vila Faia, desde a avaliação de cada componente do balanço hídrico até ao cálculo dos diversos indicadores de perdas. O processo de cálculo é faseado, de acordo com o processo em seguida descrito. Os quadros apresentados foram extraídos do ficheiro "Auditorias de perdas-Exemplo1-VilaFaia.xls", disponível em www.irar.pt.

#### Cálculo do balanço hídrico

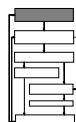
*Passo 0 - Descrição do subsistema e dados a considerar*

Neste passo define-se o sistema (ou parte do sistema) a auditar e as datas de referência (neste caso um ano). Identificam-se ainda os dados complementares do balanço hídrico necessários ao cálculo dos indicadores de perdas.

O Quadro 12 apresenta a identificação e o período de análise, e o Quadro 13 os restantes dados referidos.

Quadro 12 - Identificação (dados a introduzir na folha 1)

| | |
|---|---|
| Designação da entidade gestora | Águas de Vila Faia |
| Designação da unidade operacional | Departamento de Exploração |
| Nome do responsável pelo balanço hídrico | António Gonçalves |
| E-mail do responsável pelo balanço hídrico | agoncalves@aguasvilafaia.pt |
| Designação do sistema ou subsistema | Sistema de abastecimento de água de Vila Faia |
| Período a que se refere o cálculo | 1 Julho 2004 - 30 Junho 2005 |

Quadro 13 - Dados complementares do balanço hídrico necessários ao cálculo dos indicadores de perdas (dados a introduzir na folha 1)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| Comprimento total da rede | 850 | km | *** / 0-5% |
| Número total de ramais | 23 000 | (n.º) | ** / 6-20% |
| Altura piezométrica média de serviço | 40 | m c.a. | * / 21-50% |
| Água bruta exportada | 0 | $m^3$/ano | *** / 0-5% |
| Comprimento médio dos ramais | 5 | m | ** / 21-50% |
| Duração do período a que se refere o balanço hídrico | 365 | dias | ***/ 0-5% |
| Tempo de pressurização do sistema | 24 | horas/dia | *** / 0-5% |
| Custos correntes | 5 718 335 | €/ano | *** / 0-5% |
| Tarifa média para consumidores directos* | 1,43 | €/$m^3$ | *** / 0-5% |
| Custo unitário assumido das perdas reais | 0,49 | €/$m^3$ | *** / 0-5% |

* Dada pela razão entre a facturação (parte variável, isto é sem contar com o aluguer de contadores ou outros encargos fixos) a dividir pelo volume de água facturada.

Note-se que para cada dado se indica a respectiva classe de fiabilidade (*, ** ou ***) e de exactidão (0-5% 6-20%, 21-50%, 51-100%, 101-300%). Dado que alguns dados de entrada podem ter incertezas associadas muito elevadas, como é tipicamente o caso da estimativa de uso ilícito, a aplicação computacional considera uma classe de exactidão suplementar (101-300%) face às recomendadas pela IWA. A incerteza a especificar deve corresponder à estimativa da gama de erro não sistemático entre o valor inserido e o caudal médio real.

*Passo 1 – Determinação do volume de água entrada no sistema*

Este passo consiste na determinação das parcelas correspondentes ao volume de água entrada no sistema e na introdução dos valores nas células correspondentes da aplicação, que calcula o somatório correspondente.

Quadro 14 – Cálculo da água entrada no sistema (dados a introduzir na folha 2)

| | Valor | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|
| TOTAL* | 5 659 488 m$^3$/ano | 0-4% |
| Água captada | 23 838 m$^3$/ano | *** / 0-5% |
| Água importada (tratada ou não tratada) | 4 835 650 m$^3$/ano | *** / 0-5% |
| Água importada (tratada ou não tratada) não facturada por terceiros | 800 m$^3$/ano | *** / 0-5% |

* Os campos numéricos sombreados são obtidos por cálculo da aplicação.

Neste caso a água entrada no sistema é toda ela medida com equipamento de medição fiável.

Água entrada no sistema: 4 835 650 m$^3$/ano + 823 838 m$^3$/ano + 0 m$^3$/ano = 5 659 488 m$^3$/ano

O cálculo da banda de exactidão é feito pela aplicação seguindo a metodologia apresentada em 5.10. Neste caso, o limite inferior é zero, e o superior 4%. A exactidão da soma é ligeiramente melhor do que a das parcelas, como seria de esperar. Neste caso, e a título ilustrativo, apresentam-se os cálculos respectivos para o limite superior, baseados na (Eq. 3).

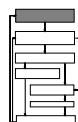
Incerteza de “Água captada”: 4 835 650 x 5% = 241 783 m$^3$/ano

Incerteza de “Água tratada importada”: 823 838 x 5% = 41 192 m$^3$/ano

Incerteza de “Água entrada no sistema”:

$$\sqrt{241\,783^2 + 41\,192^2} \text{ m}^3 / \text{ano} = 245\,266 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Incerteza relativa de “Água entrada no sistema”:

245 266 / 5 659 844 x 100 = **4,3%**

*Passo 2 – Cálculo do consumo autorizado facturado e da água facturada*

A aplicação soma o consumo facturado medido e o consumo facturado não medido, de modo a obter o consumo autorizado facturado e a água facturada.

Quadro 15 – Cálculo do consumo facturado medido (dados a introduzir na folha 3)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| CÁLCULO DO CONSUMO FACTURADO MEDIDO | 4 426 870 | $m^3$/ano | 1-6% |
| Distribuição directa: | 4 426 870 | $m^3$/ano | 1-6% |
| Consumo doméstico | 3 575 458 | $m^3$/ano | *** / 0-5% |
| Consumo de comércio e serviços | 421 056 | $m^3$/ano | *** / 0-5% |
| Consumo público | 34 953 | $m^3$/mês | ** / 21-50% |
| Consumo industrial | 0 | $m^3$/ano | *** / 0-5% |
| Outros consumos facturados medidos | 10 920 | $m^3$/ano | ** / 6-20 % |
| Água exportada: | 0 | $m^3$/ano | N/A |
| Água transferida para outros sistemas da mesma entidade (facturada) | 0 | $m^3$/ano | |
| Água vendida a outras entidades gestoras | 0 | $m^3$/ano | |

Como referido, o parque de contadores foi renovado recentemente na sua quase totalidade, razão pela qual a banda de exactidão dos dados é muito boa. Existe maior incerteza relativamente aos consumos públicos, onde ainda existem consideráveis deficiências de medição.

Quadro 16 – Cálculo do consumo facturado não medido (dados a introduzir na folha 3)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| CÁLCULO DO CONSUMO FACTURADO NÃO MEDIDO | 7 740 | $m^3$/ano | 18-37% |
| Consumo doméstico, comercial e de serviços de clientes sem contador | 2 737,5 | $m^3$/ano | **/6-20% |
| Consumo para rega de espaços verdes | 2 400 | $m^3$/ano | **/21-50% |
| Consumo para lavagem de ruas | 0 | $m^3$/ano | |
| Consumo em marcos e bocas de incêndio | 0 | $m^3$/ano | |
| Outros consumos facturados não medidos | 2 602 | $m^3$/ano | **/51-100% |

A aplicação soma as diferentes parcelas de modo a obter os somatórios correspondentes à distribuição directa e à água exportada.

Consumo facturado medido:

$$4\,426\,870 \text{ m}^3\text{/ano} + 0 = 4\,426\,870 \text{ m}^3\text{/ano}$$

É feito o cálculo automático das parcelas correspondentes às diferentes parcelas do consumo facturado não medido.

Consumo facturado não medido:

$$2\,737{,}5 \text{ m}^3\text{/ano} + 2\,400 \text{ m}^3\text{/ano} + 0 + 0 + 2\,602 \text{ m}^3\text{/ano} = 7\,740 \text{ m}^3\text{/ano}$$

Somando as duas parcelas, obtém-se o consumo autorizado facturado e a água facturada.

Consumo autorizado facturado/água facturada:

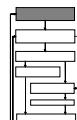
$$4\,426\,870 \text{ m}^3\text{/ano} + 7\,740 \text{ m}^3\text{/ano} = 4\,434\,610 \text{ m}^3\text{/ano}$$

Quadro 17 – Cálculo do consumo facturado (folha 3)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| Consumo facturado medido | 4 426 870 | $m^3$/ano | 1-6% |
| Consumo facturado não medido | 7 740 | $m^3$/ano | 18-37% |
| CONSUMO FACTURADO | 4 434 610 | $m^3$/ano | 1-6% |
| | | | 0-5%[(a)] |

(a) em termos de volume facturado

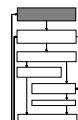
*Passo 3 – Cálculo do volume de água não facturada*

A aplicação calcula automaticamente o volume de água não facturada pela diferença entre a água entrada no sistema e a água facturada.

Volume de água não facturada:

$$5\ 659\ 448\ m^3/\text{ano} - 4\ 434\ 610\ m^3/\text{ano} = 1\ 224\ 879\ m^3/\text{ano}$$

*Passo 4 – Cálculo do consumo não facturado medido e do consumo não facturado não medido*

Quadro 18 – Cálculo do consumo autorizado não facturado medido (dados a introduzir na folha 4)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| CÁLCULO DO CONSUMO AUTORIZADO NÃO FACTURADO MEDIDO | 11 885 | $m^3$/ano | 6-20% |
| Distribuição directa (não facturada medida) | 11 885 | $m^3$/ano | 6-20% |
| Consumo público | 0 | | |
| Consumo próprio da entidade (medido) | 0 | | |
| Combate a incêndio | 11 885 | $m^3$/ano | * / 6-20% |
| Água exportada (não facturada medida) | 0 | | N/A |
| Água transferida para outros sistemas da mesma entidade | 0 | | |
| Água transferida para outras entidades gestoras | 0 | | |

É feito o cálculo automático das parcelas correspondentes aos diferentes itens do consumo autorizado não facturado medido.

Consumo autorizado não facturado medido:

$$11\ 885\ m^3/ano + 0 = 11\ 885\ m^3/ano$$

Quadro 19 – Cálculo do consumo autorizado não facturado não medido (dados a introduzir na folha 4)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| CÁLCULO DO CONSUMO AUTORIZADO NÃO FACTURADO NÃO MEDIDO | 37 900 | $m^3$/ano | 7-21% |
| **Estimativa de consumo doméstico, comercial e de serviços de clientes sem contador** (autorizado não facturado não medido) | 0 | | N/A |
| Número de consumidores | 0 | (n.º) | |
| Capitação média por consumidor | 0 | l/dia | |
| **Consumo para rega de espaços verdes** (autorizado não facturado não medido) | 0 | | N/A |
| Consumo de rega por $m^2$ de área irrigada | 0 | $m^3$/mês | |
| Área irrigada | 0 | $m^2$ | |
| Número de meses de rega por ano | 0 | meses /ano | |
| **Consumo para lavagem de ruas** (autorizado não facturado não medido) | 7 500 | $m^3$/ano | 21-54% |
| Número de enchimentos de autotanques por dia | 15 | n.º/dia | ** / 6-20% |
| Capacidade média de cada autotanque | 5 | $m^3$ | *** / 0-5% |
| Número de dias de utilização por ano | 100 | dias/ano | ** / 21-50% |
| **Consumo para serviço de combate a incêndio** (autorizado não facturado não medido) | 22 500 | $m^3$/ano | 8-28% |
| Número de enchimentos de autotanques por dia | 25 | n.º/dia | ** / 6-20% |
| Capacidade média de cada autotanque | 30 | $m^3$ | *** / 0-5% |
| Número de dias de utilização por ano | 30 | dias/ano | ** / 6-20% |

Quadro 19 – Cálculo do consumo autorizado não facturado não medido (dados a introduzir na folha 4) (cont.)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| **Consumo próprio da entidade** (não medido) | 7 900 | $m^3$/ano | 38-75% |
| Consumo de processo no tratamento (excluindo volume reutilizado) | 0 | $m^3$/ano | |
| Consumo para lavagem de condutas e reservatórios | 450 | $m^3$/mês | *** /51-100% |
| Consumo nas instalações e espaços verdes da entidade | 2 500 | $m^3$/ano | *** /51-100% |

É feito o cálculo automático das parcelas correspondentes aos diferentes itens do consumo autorizado não facturado não medido.

Consumo autorizado não facturado não medido:

$$0 + 0 + 7\,500\ m^3/ano + 22\,500\ m^3/ano + 7\,900\ m^3/ano + 0 = 37\,900\ m^3/ano$$

A aplicação soma automaticamente o volume de água não facturada medido com o volume de água não facturado não medido, resultando o consumo autorizado não facturado (Quadro 20).

Volume de água autorizado não facturado:

$$11\,885\ m^3/ano + 37\,900\ m^3/ano = 49\,785\ m^3/ano$$

Quadro 20 – Cálculo do consumo não facturado (folha 3)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| **Cálculo do consumo autorizado não facturado medido** | 11 885 | $m^3$/ano | 6-20% |
| **Cálculo do consumo autorizado não facturado não medido** | 37 900 | $m^3$/ano | 7-21% |
| CÁLCULO DO CONSUMO AUTORIZADO NÃO FACTURADO | 49 785 | $m^3$/ano | 5-16% |

*Passo 5 – Cálculo do consumo autorizado*

A aplicação calcula o consumo autorizado como a soma dos volumes correspondentes ao consumo autorizado facturado e ao consumo autorizado não facturado.

Consumo autorizado:

$$4\,434\,610 \text{ m}^3/\text{ano} + 49\,785 \text{ m}^3/\text{ano} = 4\,484\,395 \text{ m}^3/\text{ano}$$

*Passo 6 – Cálculo das perdas de água totais*

As perdas de água são calculadas automaticamente como a diferença entre a água entrada no sistema e o consumo autorizado.

Perdas de água:

$$5\,659\,488 \text{ m}^3/\text{ano} – 4\,484\,395 \text{ m}^3/\text{ano} = 1\,175\,094 \text{ m}^3/\text{ano}$$

*Passo 7 – Cálculo das perdas aparentes*

Usando os melhores métodos disponíveis, avaliar as parcelas do uso não autorizado e dos erros de medição. A aplicação calcula a respectiva soma de modo a obter as perdas aparentes.

Quadro 21 – Cálculo das perdas aparentes (dados a introduzir na folha 5)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| **Uso não autorizado** | 51 200 | $m^3$/ano | 92-273% |
| Consumo relativo a utilização fraudulenta de marcos e bocas de incêndio e de rega | 4 800 | $m^3$/ano | * / 101-300% |
| Consumo relativo a ligações ilícitas | 46 400 | $m^3$/ano | * / 101-300% |
| **Estimativa dos erros sistemáticos do consumo autorizado** | 310 713 | $m^3$/ano | 21-50% |
| Estimativa do erro sistemático da micro-medição (erro do contador, da leitura e do registo) (*) | 7 | % | * / 21-50% |
| Estimativa do erro sistemático da água autorizada não medida (**) | 0 | % | |

(*) Esta percentagem traduz o erro sistemático que se considera haver e aplica-se à soma do consumo medido facturado e do consumo medido não facturado; a aplicação faz o cálculo automaticamente.

(**)A indicação de 0 como estimativa do erro significa que se considera não haver estimativas sistematicamente por defeito ou por excesso. A incerteza da estimativa em si é tida em conta na avaliação dos consumos autorizados não medidos.

Note-se que se está a reconhecer que a estimativa de uso não autorizado é muito grosseira, admitindo que o valor real das parcelas se situa entre 0 e até 4 vezes o valor indicado (valor ± 300%).

Perdas aparentes:

$$4\,800\ m^3/ano + 46\,400\ m^3/ano + 0{,}07 \times (4\,426\,870\ m^3/ano + 11\,885\ m^3/ano) = 361\,913\ m^3/ano$$

*Passo 8 – Cálculo das perdas reais*

A aplicação calcula as perdas reais como a diferença entre as perdas totais e as perdas aparentes.

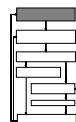
Perdas reais:

$$1\,175\,449\ m^3/ano - 361\,913\ m^3/ano = 813\,536\ m^3/ano$$

*Passo 9 – Avaliação das parcelas correspondentes às perdas reais*

De modo a fechar o ciclo, é recomendável usar os melhores métodos disponíveis (ex.: análise de consumos nocturnos), para avaliar directamente as perdas reais, e comparar os resultados com os obtidos no Passo 8.

No caso deste exemplo a entidade gestora já procede à medição de caudais mínimos nocturnos em algumas partes do sistema, o que lhe permite obter desde já estimativas da água perdida em fugas nas condutas de adução e distribuição.

Não existe informação sobre os consumos mínimos nocturnos efectivos, admitindo-se serem baixos face aos hábitos das populações, tendo nesta fase sido considerados como desprezáveis.

Dada a recente renovação de ramais, estima-se que a contribuição dos ramais para as fugas reais é comparativamente muito pequena. As fugas e extravasamentos nos reservatórios foram estimadas com base em medições (não exaustivas) do abaixamento de nível registado nas diversas células, postas temporariamente fora de serviço depois de terem sido cheias.

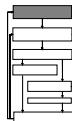
Quadro 22 – Cálculo das perdas reais (dados a introduzir na folha 6)

| | Valor | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|
| **Perdas reais** | 677 075 $m^3$/ano | 20-48% |
| Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição | 1 800 $m^3$/dia | ** / 21-50% |
| Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição | 35 $m^3$/dia | * / 51-100% |
| Fugas nos ramais (a montante do ponto de medição) | 20 $m^3$/dia | * / 51-100% |

O preenchimento da folha 6 encerra o cálculo do balanço hídrico. No Quadro 23 ilustra-se o resultado final.

A diferença entre as perdas reais calculadas pelas duas vias distintas é considerável, mas compatível com a margem de incerteza respectiva. Cabe à entidade gestora procurar identificar as causas e progressivamente tentar aproximar mais os dois valores.

Quadro 23 – Componentes do balanço hídrico para o sistema do município de Vila Faia

<table>
<tr>
<td rowspan="9">Água entrada no sistema<br><br>*5 659 488 m³/ano*<br><br>(0-4%)</td>
<td rowspan="4">Consumo autorizado<br><br>*4 484 395 m³/ano*<br><br>(0-5%)</td>
<td rowspan="2">Consumo autorizado facturado<br><br>*4 434 610 m³/ano*<br><br>(1-6%)</td>
<td>Consumo facturado medido<br><br>*4 426 870 m³/ano*<br><br>(1-6%)</td>
<td rowspan="2">Água facturada<br><br>*4 434 610 m³/ano*<br><br>(0-5%)</td>
</tr>
<tr>
<td>Consumo facturado não medido<br><br>*7 740 m³/ano*<br><br>(18-37%)</td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="2">Consumo autorizado não facturado<br>*49 785 m³/ano*<br>(6-16%)</td>
<td>Consumo não facturado medido<br>*11 885 m³/ano*<br><br>(6-20%)</td>
<td rowspan="7">**Água não facturada**<br>***1 224 879 m³/ano***<br><br>(0-18%)</td>
</tr>
<tr>
<td>Consumo não facturado não medido<br><br>*37 900 m³/ano*<br><br>(7-21%)</td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="5">**Perdas de água**<br><br>*1 175 094 m³/ano*<br><br>(3-29%)</td>
<td rowspan="2">**Perdas aparentes**<br><br>*361 913 m³/ano*<br><br>(22-57%)</td>
<td>Uso não autorizado<br><br>*51 200 m³/ano*<br><br>(92-273%)</td>
</tr>
<tr>
<td>Erros de medição<br><br>*310 713 m³/ano*<br><br>(21-50%)</td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="3">**Perdas reais**<br>*813 181 m³/ano*<br>(11-49%)<br>ou<br>*677 075 m³/ano*<br>(20-48%)</td>
<td>Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição<br><br>*1 800 m³/ano*<br><br>( 21-50%)</td>
</tr>
<tr>
<td>Fugas e extravasamentos nos reservatórios<br><br>*35 m³/ano*<br><br>(51-100%)</td>
</tr>
<tr>
<td>Fugas nos ramais<br><br>*20 m³/ano*<br><br>(51-100%)</td>
</tr>
</table>

*Cálculo dos indicadores*

Calculado o balanço hídrico, é possível calcular os principais indicadores de perdas, divididos em três grupos: Indicadores de recursos hídricos, indicadores operacionais e indicadores financeiros. A aplicação calcula ainda um indicador complementar, de água não medida, que embora são seja um indicador de perdas, é um indicador de desempenho relevante para o diagnóstico e definição de uma estratégia de actuação.

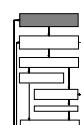
Do Quadro 24 ao Quadro 27 apresentam-se os resultados do cálculo dos diferentes indicadores.

Quadro 24 – Resultado do cálculo dos indicadores de recursos hídricos

| INDICADORES DE RECURSOS HÍDRICOS | | | |
|---|---|---|---|
| **Ineficiência na utilização dos recursos hídricos** | **14** | **%** | ±11-49% |
| WR1 = A19 / A3 x 100 | | | |
| A3 - Água entrada no sistema | 5 659 488 | $m^3$/ano | ± 0-4% |
| A19 - Perdas reais | 813 181 | $m^3$/ano | ±11-49% |

Quadro 25 – Resultado do cálculo dos indicadores operacionais

| INDICADORES OPERACIONAIS | | | |
|---|---|---|---|
| **Perdas de água por ramal** | **51 $m^3$/ramal/ano** | | ± 7-35% |
| Op23 = (A15 x 365 / H1) / C24 (válido para sistemas de distribuição + completos) | | | |
| A15 - Perdas de água | 1 175 094 | $m^3$/ano | ± 3-29% |
| C24 - Número de ramais | 23 000 | n.º | ± 6-20% |
| H1 - Duração do período de referência | 365 | dias | ± 0-5% |
| **Perdas aparentes** | **6** | **%** | ±22-57 |
| Op25 = A18 / (A3-A5-A7) x 100 (válido para sistemas de distribuição+completos) | | | |
| A3 - Água entrada no sistema | 5 659 488 | $m^3$/ano | ± 0-4% |
| A5 - Água bruta exportada | 0 | $m^3$/ano | |
| A7 - Água tratada exportada | 0 | $m^3$/ano | |
| A18 - Perdas aparentes | 361 913 | $m^3$/ano | ±22-57% |
| **Perdas reais por ramal** | **97** | l/ramal/dia | ±12-54% |
| Op27 = A19 x 1000 / (C24 x H2 / 24) (válido para sist. de distribuição+completos) | | | |
| A19 - Perdas reais | 813 181 | $m^3$/ano | ±11-49% |
| C24 - Número de ramais | 23 000 | n.º | ± 6-20% |
| H2 - Tempo de pressurização do sistema | 24 | horas /dia | ± 0-5% |
| **Índice infra-estrutural de fugas (-)** | **1,5** | **(-)** | ±23-71% |
| Op29 = Op27 / (18 x C8 / C24 + 0,8 + 0,025 x C25) / (D34/10) | | | |
| Op27 - Perdas reais por ramal | 97 | l/ramal/dia | ±12-53% |
| C8 - Comprimento de condutas | 850 | km | ± 0-5% |
| C24 - Número de ramais | 23 000 | n.º | ± 6-20% |
| C25 - Comprimento médio dos ramais prediais | 5 | m | ±21-50% |
| D34 - Pressão média de operação | 400 | kPa | ±21-50% |

Quadro 26 – Resultado do cálculo dos indicadores financeiros

| INDICADORES FINANCEIROS | | | |
|---|---|---|---|
| **Água não facturada em termos de volume (%)** | **22** | **%** | ±0-18% |
| Fi46 = A21 / A3 x 100 | | | |
| A3 - Água entrada no sistema | 5 659 488 | $m^3$/ano | ±0-4% |
| A21 - Água não facturada | 1 224 879 | $m^3$/ano | ±0-18% |
| **Água não facturada em termos de custo (%)** | **17** | **%** | ±12-36% |
| Fi47 = ((A13 + A18) x G57 + A19 x G58) / G5 x 100 | | | |
| A13 - Consumo autorizado não facturado | 49 785 | $m^3$/ano | ±21-50% |
| A18 - Perdas aparentes | 361 913 | $m^3$/ano | ±22-57% |
| G57 -Tarifa média para consumidores directos | 1,43 | €/$m^3$ | ±0-5% |
| A19 - Perdas reais | 813 181 | $m^3$/ano | ±11-49% |
| G58 - Custo unitário assumido das perdas reais | 0,49 | €/$m^3$ | ±0-5% |
| G5 - Custos correntes | 5 718 335 | €/ano | ±0-5% |

Quadro 27 – Resultado do cálculo do indicador operacional de água não medida

| INDICADOR DE ÁGUA NÃO MEDIDA | | | |
|---|---|---|---|
| INDICADOR OPERACIONAL | | | |
| **Água não medida** | **22** | **%** | ±3-26% |
| Op39 = (A3 - A8 - A11) / A3 x 100 | | | |
| A3 - Água entrada no sistema | 5 659 488 | $m^3$/ano | ±0-4% |
| A8 - Consumo facturado medido | 4 426 870 | $m^3$/ano | ±1-6% |
| A11 - Consumo não facturado medido | 11 885 | $m^3$/ano | ±18-38% |

### 5.11.3 Exemplo 2 – Subsistema Norte do Município de S[ta] Bárbara

Apresenta-se nesta secção a elaboração de uma auditoria de perdas no Subsistema Norte do Município de Sta Bárbara (sistema fictício), desde a avaliação de cada componente do balanço hídrico até ao cálculo dos diversos indicadores de perdas. O processo de cálculo é idêntico ao adoptado no exemplo anterior. Recorre-se novamente à aplicação desenvolvida pelo LNEC e

disponível no sítio de Internet do IRAR. O ficheiro correspondente a este exemplo está disponível no mesmo sítio, com a designação “Auditorias de perdas-Exemplo2-StaBárbara.xls”.

### *Cálculo do balanço hídrico*

#### *Passo 0 - descrição do subsistema e dados a considerar*

Neste passo define-se o sistema (ou parte do sistema) a auditar e as datas de referência (neste caso um ano). Identificam-se ainda os dados complementares do balanço hídrico necessários ao cálculo dos indicadores de perdas. Na Figura 20 apresenta-se o esquema da rede a analisar.

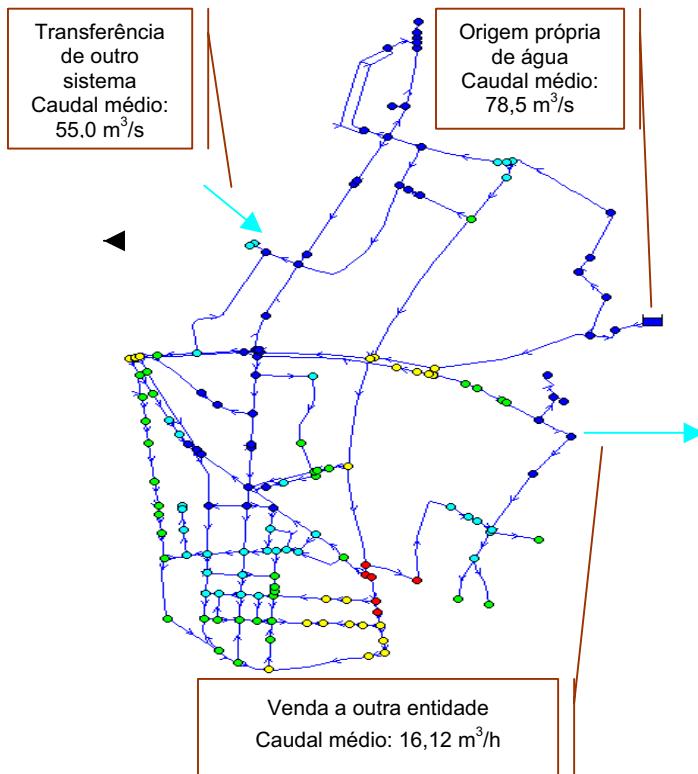
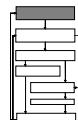



Figura 20 – Esquema do Subsistema Norte de Sta. Bárbara

- Caudal médio entrado no sistema: 133,5 $m^3/h$
- cerca de 3 700 consumidores / 11 500 habitantes
- densidade de ramais: 30/km de conduta
- cerca de 950 ramais
- comprimento médio dos ramais: 15 m
- pressão média de serviço: 40 m

O Quadro 28 apresenta a identificação e o período de análise, e o Quadro 29 os restantes dados referidos.

Quadro 28 – Identificação (dados a introduzir na folha 1)

| | |
|---|---|
| Designação da entidade gestora | Câmara Municipal de S$^{ta}$ Bárbara |
| Designação da unidade operacional | Divisão de Controlo de Perdas |
| Nome do responsável pelo balanço hídrico | Manuel Silva |
| E-mail do responsável pelo balanço hídrico | msilva@yahoo.com |
| Designação do sistema ou subsistema | Subsistema Norte |
| Período a que se refere o cálculo | 1 de Janeiro de 2004 - 31 de Dezembro de 2005 |

A exactidão do valor de custos correntes é muito baixa, apesar de se basear em cálculos contabilísticos por duas razões:

(i) não existe contabilidade analítica na entidade gestora que permita identificar facilmente os custos relativos à actividade de abastecimento de água (trata-se de uma entidade multi-serviços);

(ii) por se tratar de um subsistema, e não da globalidade do sistema do município, a determinação da parcela dos custos correntes globais a afectar ao subsistema também constitui uma fonte de incerteza considerável.

Quadro 29 – Dados complementares do balanço hídrico necessários ao cálculo dos indicadores de perdas (dados a introduzir na folha 1)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| Comprimento total da rede | 32 | km | *** / 0-5% |
| Número total de ramais | 950 | (n.º) | ** / 6-20% |
| Altura piezométrica média de serviço | 40 | m c.a. | ** / 21-50% |
| Água bruta exportada | 0 | $m^3$/dia | *** / 0-5% |
| Comprimento médio dos ramais prediais | 15 | m | * / 21-50% |
| Duração do período a que se refere o balanço hídrico | 365 | dias | *** / 0-5% |
| Tempo de pressurização do sistema | 24 | horas/dia | *** / 0-5% |
| Custos correntes | 637 677,50 | €/ano | *** / 51-100% |
| Tarifa média para consumidores directos* | 0,7 | €/$m^3$ | *** / 0-5% |
| Custo unitário assumido das perdas reais | 0,4 | €/$m^3$ | *** / 0-5% |

* Dada pela razão entre a facturação (parte variável, isto é sem contar com o aluguer de contadores ou outros encargos fixos) a dividir pelo volume de água facturada.

*Passo 1 – Determinação do volume de água entrada no sistema*

Neste caso, é adquirida água a outra entidade gestora e a medição é feita de modo fiável por razões de facturação. O volume de água captada em captações próprias é calculado a partir dos volumes bombeados na instalação elevatória da captação, com uma incerteza muito superior. O Quadro 30 mostra o resultado.

Quadro 30 – Cálculo da água entrada no sistema (dados a introduzir na folha 2)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| ÁGUA ENTRADA NO SISTEMA | 1 169 460 | $m^3$/ano | 3-11% |
| Água captada | 78,5 | $m^3$/h | *** / 6-20% |
| Água importada facturada por terceiros | 55 | $m^3$/h | *** / 0-5% |
| Água importada não facturada por terceiros | 0 | $m^3$/ano | *** / 0-5% |

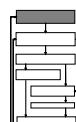
Água entrada no sistema:

$$(78{,}5 + 55) \times 24 \times 365 + 0 = 1\ 169\ 460\ m^3/ano$$

*Passo 2 – Cálculo do consumo autorizado facturado e da água facturada*

A aplicação soma o consumo facturado medido e o consumo facturado não medido de modo a obter o consumo autorizado facturado e a água facturada.

Quadro 31 – Cálculo do consumo facturado medido (dados a introduzir na folha 3)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| CÁLCULO DO CONSUMO FACTURADO MEDIDO | 695 333,76 | $m^3$/ano | 3-12% |
| Distribuição directa: | 554 070 | $m^3$/ano | 4-15% |
| Consumo doméstico | 428 145 | $m^3$/ano | *** / 6-20% |
| Consumo de comércio e serviços | 0 | $m^3$/ano | |
| Consumo público | 50 370 | $m^3$/ano | *** / 6-20% |
| Consumo industrial | 0 | $m^3$/ano | |
| Outros consumos facturados medidos | 75 555 | $m^3$/ano | *** / 6-20% |
| Água exportada: | 141 263,76 | $m^3$/ano | *** / 0-5% |
| Água transferida para outros sistemas da mesma entidade (facturada) | 0 | $m^3$/ano | |
| Água vendida a outras entidades gestoras | 16,126 | $m^3$/h | *** / 0-5% |

A aplicação soma as diferentes parcelas de modo a obter a distribuição directa e a água exportada.

Consumo facturado medido:

$$554\ 070\ m^3/ano + 141\ 263{,}76\ m^3/ano = 695\ 333{,}76\ m^3/ano$$

É feito o cálculo automático das parcelas correspondentes aos diferentes itens do consumo facturado não medido (Quadro 32). Na avaliação destas parcelas foram tidas as seguintes considerações:

- Consumidores sem contador (12%, 150 l/hab/d): 75 555 $m^3$
- rega de espaços verdes: 540 $m^3$

(exemplo: por estimação de tempo de rega diária aproximado, caudal médio por aspersor, quantidade aproximada de aspersores e número de meses de rega por ano);

- lavagem de ruas: 375 $m^3$

  (exemplo: por estimação do número de autotanques que se enchem por dia x capacidade de cada um x número de dias de utilização por ano);

Quadro 32 – Cálculo do consumo facturado não medido (dados a introduzir na folha 3)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| CÁLCULO DO CONSUMO FACTURADO NÃO MEDIDO | 76 845 | $m^3$/ano | 5-19% |
| Consumo doméstico, comercial e de serviços de clientes sem contador | 75 555 | $m^3$/ano | ** / 6-20% |
| Consumo para rega de espaços verdes | 540 | $m^3$/ano | ** / 21-50% |
| Consumo para lavagem de ruas | 375 | $m^3$/ano | ** / 21-50% |
| Consumo em marcos e bocas de incêndio | 375 | $m^3$/ano | * / 51-100% |
| Outros consumos facturados não medidos | 0 | $m^3$/ano | |

Quadro 33 – Cálculo do consumo facturado (folha 3)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| Consumo facturado medido | 695 334 | $m^3$/ano | 3-12% |
| Consumo facturado não medido | 76 845 | $m^3$/ano | 5-19% |
| CONSUMO FACTURADO | 772 179 | $m^3$/ano | 3-11% |

Consumo facturado não medido:

$$75\,555\ m^3/ano + 540\ m^3/ano + 375\ m^3/ano + 375\ m^3/ano$$

$$=76\,845\ m^3/ano$$

Somando as duas parcelas, tem-se o consumo autorizado facturado e a água facturada.

Consumo autorizado facturado/água facturada:

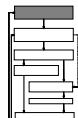
$$695\,333{,}76\ m^3/ano + 76\,845\ m^3/ano = 772\,179\ m^3/ano$$

*Passo 3 – Cálculo do volume de água não facturada*

A aplicação calcula automaticamente o volume de água não facturada pela diferença entre a água entrada no sistema e a água facturada.

Volume de água não facturada:

$$1\,169\,460\ m^3/ano - 772\,179\ m^3/ano = 397\,281\ m^3/ano$$

*Passo 4 – Definição do consumo não facturado medido e do consumo não facturado não medido*

É feito o cálculo automático das parcelas correspondentes aos diferentes itens do consumo autorizado não facturado medido.

Consumo autorizado não facturado medido:

$$12\,500\ m^3/ano + 450\ m^3/ano = 12\,950\ m^3/ano$$

Quadro 34 – Cálculo do consumo autorizado não facturado medido (dados a introduzir na folha 4)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| CÁLCULO DO CONSUMO AUTORIZADO NÃO FACTURADO MEDIDO | 12 950 | $m^3$/ano | 5-19% |
| **Distribuição directa** (não facturada medida) | 12 950 | $m^3$/ano | 5-19% |
| Consumo público | 12 500 | $m^3$/ano | *** / 6-20% |
| Consumo próprio da entidade (medido) | 450 | $m^3$/ano | *** / 0-5% |
| Combate a incêndio | 0 | $m^3$/ano | |
| **Água exportada** (não facturada medida) | 0 | $m^3$/ano | N/A |
| Água transferida para outros sistemas da mesma entidade | 0 | | |
| Água transferida para outras entidades gestoras | 0 | | |

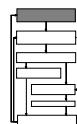
Quadro 35 – Cálculo do consumo autorizado não facturado não medido (dados a introduzir na folha 4)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| CÁLCULO DO CONSUMO AUTORIZADO NÃO FACTURADO NÃO MEDIDO | 71 016 | $m^3$/ano | 13-34% |
| **Estimativa de consumo doméstico, comercial e de serviços de clientes sem contador** (autorizado não facturado não medido) | 0 | | N/A |
| Número de consumidores | 0 | (n.º) | |
| Capitação média por consumidor | 0 | l/dia | |
| **Consumo para rega de espaços verdes** (autorizado não facturado não medido) | 20 016 | $m^3$/ano | 8-28% |
| Consumo de rega por $m^2$ de área irrigada | 0,12 | $m^3$/mês | ** / 6-20% |
| Área irrigada | 27 800 | $m^2$ | *** / 0-5% |
| Número de meses de rega por ano | 6 | meses /ano | ** / 6-20% |
| **Consumo para lavagem de ruas** (autorizado não facturado não medido) | 43 000 | $m^3$/mês | 21-54% |
| Número de enchimentos de autotanques por dia | 100 | n.º/dia | ** / 6-20% |
| Capacidade média de cada autotanque | 4,3 | $m^3$ | *** / 0-5% |
| Número de dias de utilização por ano | 100 | dias/ano | ** / 21-50% |
| **Consumo para serviço de combate a incêndio** (autorizado não facturado não medido) | 5 000 | $m^3$/ano | 21-54% |
| Número de enchimentos de autotanques por dia | 20 | n.º/dia | ** / 6-20% |
| Capacidade média de cada autotanque | 5 | $m^3$ | *** / 0-5% |
| Número de dias de utilização por ano | 50 | dias/ano | ** / 21-50% |

Quadro 35 (cont.) – Cálculo do consumo autorizado não facturado não medido (dados a introduzir na folha 4)

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Consumo próprio da entidade** (não medido) | 3 000 | $m^3$/ano | 51-100% |
| Consumo de processo no tratamento (excluindo volume reutilizado) | 0 | $m^3$/ano | |
| Consumo para lavagem de condutas e reservatórios | 3 000 | $m^3$/ano | * /51-100% |
| Consumo nas instalações e espaços verdes da entidade | 0 | $m^3$/ano | |

É feito o cálculo automático das parcelas correspondentes aos diferentes itens do consumo autorizado não facturado não medido.

Consumo autorizado não facturado não medido:

$$0\ m^3/ano + 20\ 016\ m^3/ano + 43\ 000\ m^3/ano + 5\ 000\ m^3/ano + \\ + 3\ 000\ m^3/ano + 0 = 71\ 016\ m^3/ano$$

A aplicação soma automaticamente o volume de água não facturada medido com o volume de água não facturado não medido, resultando o consumo autorizado não facturado (Quadro 36).

Volume de água autorizado não facturado: 12 950 $m^3$/ano + 71 016 $m^3$/ano = 83 966 $m^3$/ano

Quadro 36 – Cálculo do consumo não facturado (folha 3)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| **Cálculo do consumo autorizado não facturado medido** | 12 950 | $m^3$/ano | 5-19% |
| **Cálculo do consumo autorizado não facturado não medido** | 71 016 | $m^3$/ano | 13-34% |
| **CÁLCULO DO CONSUMO AUTORIZADO NÃO FACTURADO** | 83 966 | $m^3$/ano | 11-29% |

*Passo 5 – Cálculo do consumo autorizado*

A aplicação calcula o consumo autorizado como a soma dos volumes correspondentes ao consumo autorizado facturado e ao consumo autorizado não facturado.

Consumo autorizado:

$$772\ 179\ m^3/ano + 83\ 966\ m^3/ano = 856\ 145\ m^3/ano$$

*Passo 6 – Cálculo das perdas de água totais*

As perdas de água são calculadas automaticamente como a diferença entre a água entrada no sistema e o consumo autorizado.

Perdas de água:

$$1\ 169\ 460\ m^3/ano - 856\ 145\ m^3/ano = 313\ 315\ m^3/ano$$

*Passo 7 – Cálculo das perdas aparentes*

Usando os melhores métodos disponíveis, avaliar as parcelas do uso não autorizado e dos erros de medição. A aplicação calcula a respectiva soma de modo a obter as perdas aparentes.

Quadro 37 – Cálculo das perdas aparentes (dados a introduzir na folha 5)

| | Valor | | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|---|
| **Uso não autorizado** | 15 000 | $m^3$/ano | 36-105% |
| Consumo relativo a utilização fraudulenta de marcos e bocas de incêndio e de rega | 10 000 | $m^3$/ano | ** / 21-50% |
| Consumo relativo a ligações ilícitas | 5 000 | $m^3$/ano | * / 101-300% |
| **Estimativa dos erros sistemáticos do consumo autorizado** | 100 401 | $m^3$/ano | 7-20% |
| Estimativa do erro sistemática da micro-medição (erro do contador, da leitura e do registo) (*) | 10 | % | ** / 6-20% |
| Estimativa do erro sistemático da água autorizada não medida (**) | 20 | % | ** / 21-50% |

(*) Esta percentagem traduz o erro sistemático que se considera haver e aplica-se à soma do consumo medido facturado e do consumo medido não facturado; a aplicação faz o cálculo automaticamente.

(**) Esta percentagem aplica-se à soma do consumo não medido facturado e do consumo não medido não facturado; a aplicação faz o cálculo automaticamente.

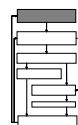
Perdas aparentes:

$$10\,000\ m^3/ano + 5\,000\ m^3/ano + 0{,}10 \times (695\,333{,}76\ m^3/ano + 12\,950 m^3/ano) + 0{,}20 \times (76\,845\ m^3/ano + 71\,016\ m^3/ano) = 115\,401\ m^3/ano$$

*Passo 8 – Cálculo das perdas reais*

A aplicação calcula as perdas reais como a diferença entre as perdas totais e as perdas aparentes.

Perdas reais:

$$313\,315\ m^3/ano - 115\,401\ m^3/ano = 197\,914\ m^3/ano$$

*Passo 9 – Avaliação das parcelas correspondentes às perdas reais*

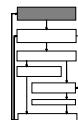
De modo a fechar o ciclo, é recomendável usar os melhores métodos disponíveis (ex.: análise de consumos nocturnos), para avaliar directamente as perdas reais, e comparar os resultados com os obtidos no Passo 8. A aplicação considera as diversas parcelas das perdas reais e executa a respectiva soma.

Quadro 38 – Cálculo das perdas reais (dados a introduzir na folha 6)

| | Valor | Fiabilidade/ exactidão |
|---|---|---|
| **Perdas reais** | 125 000 $m^3$/ano | 23-62% |
| Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição | 100 000 $m^3$/ano | ** / 21-50% |
| Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição | 5 000 $m^3$/ano | ** / 21-50% |
| Fugas nos ramais (a montante do ponto de medição) | 20 000 $m^3$/ano | * / 101-300% |

O preenchimento da folha 6 encerra o cálculo do balanço hídrico. No Quadro 39 ilustra-se o resultado final.

Quadro 39 – Componentes do balanço hídrico para o exemplo do subsistema norte do município de S.$^{ta}$ Bárbara

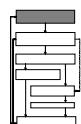
<table>
<tr>
<td rowspan="9">Água entrada no sistema<br>1 169 460 $m^3$/ano<br>(3-11%)</td>
<td rowspan="4">Consumo autorizado<br>856 145 $m^3$/ano<br>(2-10%)</td>
<td rowspan="2">Consumo autorizado facturado<br>772 179 $m^3$/ano<br>(3-11%)</td>
<td>Consumo facturado medido<br>695 334 $m^3$/ano<br>(3-12%)</td>
<td rowspan="2">Água facturada<br>772 179 $m^3$/ano<br>(0-5%)</td>
</tr>
<tr>
<td>Consumo facturado não medido<br>76 845 $m^3$/ano<br>(5-19%)</td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="2">Consumo autorizado não facturado<br>83 966 $m^3$/ano<br>(11-29%)</td>
<td>Consumo não facturado medido<br>12 950 $m^3$/ano<br>(5-19%)</td>
<td rowspan="7">Água não facturada<br>397 281 $m^3$/ano<br>(0-9%)</td>
</tr>
<tr>
<td>Consumo não facturado não medido<br>71 016 $m^3$/ano<br>(13-34%)</td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="5">Perdas de água<br>313 315 $m^3$/ano<br>(13-49%)</td>
<td rowspan="2">Perdas aparentes<br>115 401 $m^3$/ano<br>(8-22%)</td>
<td>Uso não autorizado<br>15 000 $m^3$/ano<br>(36-105%)</td>
</tr>
<tr>
<td>Erros de medição<br>100 401 $m^3$/ano<br>(7-20%)</td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="3">Perdas reais<br>197 915 $m^3$/ano<br>(22-79%)<br>ou<br>125 000 $m^3$/ano<br>(23-62%)</td>
<td>Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição<br>100 000 $m^3$/ano<br>( 21-50%)</td>
</tr>
<tr>
<td>Fugas e extravasamentos nos reservatórios<br>5 000 $m^3$/ano<br>(21-50%)</td>
</tr>
<tr>
<td>Fugas nos ramais<br>20 000 $m^3$/ano<br>(101-300%)</td>
</tr>
</table>

*Cálculo dos indicadores*

Calculado o balanço hídrico, é possível calcular os principais indicadores de perdas, divididos em três grupos: indicadores de recursos hídricos, indicadores operacionais e indicadores financeiros. A aplicação calcula ainda um indicador complementar, de água não medida, que embora não seja um indicador de perdas, é um indicador de desempenho relevante para o diagnóstico e definição de uma estratégia de actuação.

Do Quadro 40 ao Quadro 43 apresentam-se os resultados do cálculo dos diferentes indicadores.

Quadro 40 – Resultado do cálculo dos indicadores

| INDICADORES DE RECURSOS HÍDRICOS | | | |
|---|---|---|---|
| **Ineficiência na utilização dos recursos hídricos** | **17** | **%** | ±22-79% |
| WR1 = A19 / A3 x 100 | | | |
| A3 - Água entrada no sistema | 1 169 460 | $m^3$/ano | ±3-11% |
| A19 - Perdas reais | 197 915 | $m^3$/ano | ±22-79% |

Quadro 41 – Resultado do cálculo dos indicadores operacionais

| INDICADORES OPERACIONAIS | | | |
|---|---|---|---|
| **Perdas de água por ramal** | **330** | **m³/ramal/ano** | ±14-53% |
| Op23 = (A15 x 365 / H1) / C24 (válido para sistemas de distribuição + completos) | | | |
| A15 - Perdas de água | 313 315 | m³/ano | ±13-49% |
| C24 - Número de ramais | 950 | n.º | ±6-20% |
| H1 - Duração do período de referência | 365 | dias | ±0-5% |
| **Perdas aparentes** | **11** | **%** | ±8-25 |
| Op25 = A18 / (A3-A5-A7) x 100 (válido para sistemas de distribuição+completos) | | | |
| A3 - Água entrada no sistema | 1 169 460 | m³/ano | ± 3-11% |
| A5 - Água bruta exportada | 0 | m³/ano | |
| A7 - Água tratada exportada | 141 264 | m³/ano | ±0-5% |
| A18 - Perdas aparentes | 115 401 | m³/ano | ±8-22% |
| **Perdas reais por ramal** | **571** | l/ramal/dia | ±22-81% |
| Op27 = A19 x 1000 / (C24 x H2 / 24) (válido para sist. de distribuição+completos) | | | |
| A19 - Perdas reais | 197 915 | m³/ano | ±22-79% |
| C24 - Número de ramais | 950 | n.º | ±6-20% |
| H2 - Tempo de pressurização do sistema | 24 | horas /dia | ±0-5% |
| **Índice infra-estrutural de fugas (-)** | **8,0** | **(-)** | ±30-94% |
| Op29 = Op27 / (18 x C8 / C24 + 0,8 + 0,025 x C25) / (D34/10) | | | |
| Op27 - Perdas reais por ramal | 571 | l/ramal/dia | ±22-81% |
| C8 - Comprimento de condutas | 32 | km | ±0-5% |
| C24 - Número de ramais | 950 | n.º | ±6-20% |
| C25 - Comprimento médio dos ramais prediais | 15 | m | ±21-50% |
| D34 - Pressão média de operação | 400 | kPa | ±21-50% |

Quadro 42 – Resultado do cálculo dos indicadores financeiros

| INDICADORES FINANCEIROS | | | |
|---|---|---|---|
| **Água não facturada em termos de volume (%)** | **34** | **%** | ±3-14% |
| Fi46 = A21 / A3 x 100 | | | |
| A3 - Água entrada no sistema | 1 169 460 | $m^3$/ano | ±3-11% |
| A21 - Água não facturada | 397 281 | $m^3$/ano | ±0-9% |
| **Água não facturada em termos de custo (%)** | **34** | **%** | ±51-104% |
| Fi47 = ((A13 + A18) x G57 + A19 x G58) / G5 x 100 | | | |
| A13 - Consumo autorizado não facturado | 83 966 | $m^3$/ano | ±7-20% |
| A18 - Perdas aparentes | 115 401 | $m^3$/ano | ±8-22% |
| G57 -Tarifa média para consumidores directos | 0,7 | €/$m^3$ | ±0-5% |
| A19 - Perdas reais | 197 915 | $m^3$/ano | ±22-79% |
| G58 - Custo unitário assumido das perdas reais | 0,4 | €/$m^3$ | ±0-5% |
| G5 - Custos correntes | 637 678 | €/ano | ±51-100% |

Quadro 43 – Resultado do cálculo do indicador operacional de água não medida

| INDICADOR DE ÁGUA NÃO MEDIDA | | | |
|---|---|---|---|
| INDICADOR OPERACIONAL | | | |
| **Água não medida** | **39** | **%** | ±6-24% |
| Op39 = (A3 - A8 - A11) / A3 x 100 | | | |
| A3 - Água entrada no sistema ($m^3$) | 1 169 460 | $m^3$/ano | ±3-11% |
| A8 - Consumo facturado medido ($m^3$) | 695 334 | $m^3$/ano | ±3-12% |
| A11 - Consumo não facturado medido ($m^3$) | 12 950 | $m^3$/ano | ±5-19% |

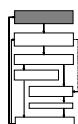
### 5.11.4 Avaliação global comparativa dos dois exemplos

O Quadro 44 permite comparar facilmente os resultados dos indicadores e das respectivas bandas de incerteza para os dois exemplos apresentados nas secções anteriores.

Quadro 44 – Comparação de resultados (valor e banda de confiança dos indicadores) entre os dois exemplos de aplicação

| Indicadores de desempenho: | Sistema do município de Vila Faia | Subsistema norte do município de S.ta Bárbara |
|---|---|---|
| Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%) | 14 ± 11-49% | 17 ± *22-79%* |
| Perdas de água por ramal ($m^3$/ramal/ano) | 51 ± 6-35% | 330 ± *14-53%* |
| Perdas aparentes (%) | 6 ± 22-57% | 11 ± *8-25%* |
| Perdas reais por ramal (l/ramal/dia) | 97 ± 12-53% | 571 ± *22-81%* |
| Índice infra-estrutural de fugas (-) | 2 ± 23-71% | 8 ± *30-94%* |
| Água não facturada em termos de volume (%) | 22 ± 0-18% | 34 ± *3-14%* |
| Água não facturada em termos de custo (%) | 17 ± 12-36% | 34 ± *51-104%* |
| Água não medida (%) | 22 ± 3-26% | 39 ± *6-24%* |

O indicador de ineficiência na utilização dos recursos hídricos está ligeiramente abaixo do valor máximo recomendado pelo IRAR (15%) no caso do exemplo 1 e um pouco acima no caso do exemplo 2. Contudo, a diferença entre ambos é de apenas 3%, o que numa análise isolada não seria relevante, tendo em conta o elevado grau de incerteza destes indicadores.

Quando se analisam os indicadores de água não facturada, de perdas aparentes e de perdas reais por ramal, as diferenças observadas tornam-se muito mais expressivas.

O sistema do exemplo 1, que partiu de uma situação pior do que a situação actual do sistema do exemplo 2 em termos de água não facturada (da ordem de 40% antes da entidade dar início ao controlo activo de perdas), já conseguiu recuperar para quase metade. As perdas aparentes também são muito inferiores. A maior diferença regista-se porém nos resultados do indicador

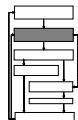
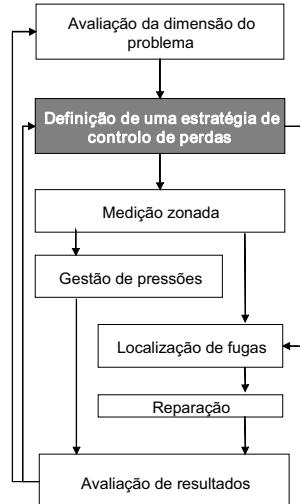
“perdas reais por ramal”, um dos mais importantes, que mostra claramente que o sistema do exemplo 2 apresenta problemas estruturais mais graves do que o do exemplo 1.

Também a incerteza associada aos indicadores é muito maior no exemplo 2, à excepção do indicador de perdas aparentes. Este último resultado pode parecer à primeira vista estranho, dado que o parque de contadores no caso do exemplo 1 é mais fiável. Uma análise mais detalhada permite verificar que a entidade do exemplo 1 já conseguiu controlar bem as perdas aparentes decorrentes de erros de medição. A componente que lhe resta deve-se em grande parte a consumos ilícitos e fraudulentos, por natureza conhecidos com uma margem de erro elevada. Será certamente uma das áreas de actuação prioritárias a considerar.

O indicador infra-estrutural de perdas traduz a mesma mensagem que a comparação do indicador de perdas reais. Este indicador, embora deva ser utilizado com precaução, é particularmente útil na comparação entre subsistemas da mesma entidade, de dimensão relativamente pequena, e onde a pressão de serviço não apresente grandes diferenças de ponto para ponto nem ao longo do dia. Embora incorpore um julgamento empírico, diferenças significativas na ordem de grandeza do indicador indiciam diferenças significativas na condição estrutural das respectivas redes, ajudando a definir prioridades de intervenção.

Em resumo, da análise feita torna-se evidente que a entidade gestora do exemplo 1 está a progredir no bom caminho, embora ainda tenha espaço de melhoria significativo em termos do controlo dos usos ilícitos e fraudulentos. A execução de balanços hídricos à escala dos subsistemas do município deverá ser realizada de modo a identificar eventuais casos onde os indicadores de perdas sejam piores, justificando intervenções prioritárias. Quanto à entidade gestora do exemplo 2, fica claro que se encontra numa situação abaixo da desejável, devendo definir e pôr em prática uma estratégia para controlo tanto de perdas reais como de perdas aparentes, com prioridade para a melhoria da qualidade das medições.

# 6. DEFINIÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA DE CONTROLO DE PERDAS

## 6.1 Nota introdutória

Como se referiu no Capítulo 4 (Vias para a abordagem do problema), as metodologias internacionalmente consagradas para controlo de perdas de água consideram a dimensão económica como a principal, tratando as outras vertentes como complementares e directamente relacionadas.

Em geral, é aconselhada uma abordagem tendo como ponto de partida para a implementação de uma estratégia de controlo de perdas a modularização dos sistemas. Esta é uma prática antiga no Reino Unido, de onde são originárias as principais abordagens de controlo de perdas. A utilização generalizada de zonas de medição e controlo tem vindo, de algum modo, a compensar o facto de naquele país a facturação da água não ser feita em função do consumo, não havendo uma prática extensiva de medição domiciliária. Actualmente, a sectorização das redes é considerada um passo básico para a concretização do controlo activo de perdas, complementar à medição individual de cada consumidor.

Na definição de uma estratégia de controlo de perdas o que está em causa é avaliar a partir de que nível de perdas é economicamente rentável proceder a uma intensificação de meios para redução de perdas aparentes, para melhorar a gestão de pressões ou para a localização e reparação de fugas não visíveis.

Thornton (2002), por exemplo, considera que as análises de custo-benefício devem incluir as seguintes parcelas:

- Custos:
  - Custos de engenharia;
  - Custos de construção;

- Custos de produtos;
- Aumento de custos de manutenção de novo equipamento e "*software*";
- Redução de proveitos eventualmente decorrente de gestão de pressões.

- Benefícios:
  - Redução de perdas a custo marginal;
  - Redução de custos de manutenção decorrente da redução de fugas reportadas.

Estão actualmente em curso desenvolvimentos no seio do grupo de perdas de água da IWA com vista a desenvolver uma metodologia para a determinação do nível económico de perdas que permitam colmatar algumas das deficiências das actuais abordagens. No entanto, o trabalho está ainda numa fase incipiente de desenvolvimento, não tendo ainda sido produzidos resultados práticos relevantes.

Assim, e apesar da abordagem estritamente economicista nos moldes em que actualmente é feita e recomendada pela maioria dos autores que têm escrito sobre esta matéria, ser incompleta, é basicamente a que se apresenta neste capítulo.

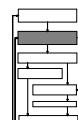
## 6.2 Conceito de nível económico de perdas

A definição de uma estratégia de controlo de perdas requer o cálculo do *nível económico de perdas* (NEP). O NEP pode ser definido como a situação em que o custo marginal do controlo activo de perdas equilibra o custo marginal da água perdida. Por outras palavras, a situação em que o custo de redução de perdas em uma unidade de volume é igual ao custo de produção dessa unidade de volume de água. Isto implicaria que a operação de um sistema de distribuição de água no nível económico iria resultar na mais baixa combinação possível entre o custo das acções de controlo de perdas e o preço da água desperdiçada. Qualquer outra combinação gerará em princípio custos mais elevados. Esta noção aplica-se tanto às perdas reais como às aparentes.

Para que ocorra o nível económico de perdas é necessário estar-se simultaneamente perante o nível económico de perdas reais (NEPr) e o nível económico de perdas aparentes (NEPa). Isto deve-se ao facto dos procedimentos para minimização de

erros de medição e de consumos não contabilizados serem independentes dos procedimentos para minimização de perdas reais.

Como já se referiu no Capítulo 4, a identificação das intervenções a realizar para redução de perdas aparentes é relativamente mais fácil que as necessárias para as perdas reais, sendo naturalmente necessário realizar uma análise de custo-benefício para definir as intervenções a implementar e a prioridade com que deverão ser postas em prática. Em termos técnicos, o controlo de perdas reais é mais complexo que o das perdas aparentes, constituindo por isso essa a área que se aborda com maior profundidade neste manual.

No que diz respeito às perdas reais, é importante avaliar o nível económico de perdas reais (NEPr, ou na terminologia anglo-saxónica, ELL – *Economic Level of Leakage*) correspondente a cada caso, de modo a ajustar o esforço financeiro a realizar em função desse valor.

Os principais factores locais que afectam o NEPr são:

- Custo de mão-de-obra;
- custo da água;
- pressão de serviço;
- idade e estado de conservação das tubagens;
- tipologia das roturas;
- método(s) utilizado(s) para controlo de fugas — quanto mais dispendioso, mais alto será o NEPr.

Assim, o valor do NEPr:

- Varia de rede para rede;
- varia ao longo do tempo;
- pode ser afectado por sazonalidade na frequência de roturas;
- quando calculado com base no controlo activo de perdas, é afectado por alterações de operação da rede (ex.: na pressão de serviço);
- depende do valor da água, que se altera ao longo do tempo;
- depende das técnicas de detecção e reparação de fugas adoptadas.

A estimação do NEPr requer dados só disponíveis depois de ser realizado um considerável trabalho de base. É calculado por

iterações sucessivas e pode requerer alguns anos até que se disponha de valores confiáveis. Isto não implica, naturalmente, que não se vão obtendo reduções importantes das perdas reais com a aplicação das estratégias definidas.

Os objectivos estratégicos baseados no NEPr devem ser específicos de cada caso e dinâmicos, evoluindo de ano para ano.

O NEPr pode ser tido em conta de duas formas distintas:

- No curto prazo (NEPr-CP, ou, na terminologia anglo-saxónica, SRELL - *Short Run ELL)*
- no longo prazo (NEPr-LP, ou, na terminologia anglo-saxónica, LRELL - *Long Run ELL*).

Em geral, por ser mais simples, apenas se faz a avaliação com base no NEPr-CP. Contudo, quando se está no limiar de capacidade das infra-estruturas ou de utilização de captações, pode ser necessário optar entre investir no reforço da capacidade de produção e transporte ou investir na redução de perdas, já que esta permite diferir ou evitar a construção de novas infra-estruturas. Nestas situações não se pode deixar de proceder a uma análise mais completa, de médio ou longo prazo, que atenda a estes aspectos, recorrendo ao NEPr-LP.

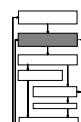
A avaliação do NEPr é descrita adiante, na secção 6.4.2.

## 6.3 Conceito de nível-base de perdas

O nível-base de perdas é um nível de referência que corresponde ao nível de perdas obtido após reparação de todas as roturas e avarias detectáveis em função da tecnologia e recursos que a entidade decida utilizar. A diferença entre o nível-base e o nível real de perdas fornece uma estimativa da poupança de água que seria possível efectuar por aplicação do mesmo esforço de detecção, localização e reparação que foi empregue para a determinação do nível-base.

O nível-base não coincide habitualmente com o nível económico de perdas reais (NEPr), definido por critérios essencialmente técnico-económicos, e que pode ser mais elevado. O nível-base é uma quantidade definida de modo fundamentalmente empírico. Depende de rede para rede, e poderá mesmo ser diferente de zona para zona dentro da mesma rede.

O nível-base deverá ser determinado com o auxílio dos meios de localização e detecção mais eficazes ao dispor da entidade

gestora, sem naturalmente pôr em causa a rentabilidade do processo. No caso, por exemplo, de os recursos humanos disponíveis serem limitados, poderão justificar-se valores mais elevados do nível-base. No entanto, deverá sempre haver o cuidado de avaliar as economias possíveis decorrentes do investimento em novas tecnologias de detecção, localização e reparação para determinação do nível-base.

## 6.4 Desenvolvimento de uma estratégia de controlo de perdas reais

### 6.4.1 Abordagem

Na sequência do que se expôs acima, podem definir-se os princípios básicos que deverão presidir ao desenvolvimento de uma estratégia de controlo de perdas reais. A abordagem a adoptar deverá incluir os seguintes passos:

(i) Definição de objectivos estratégicos;

(ii) identificação e caracterização preliminares do sistema de distribuição de água em causa e da área em que ele se insere;

(iii) determinação do custo da água e do nível actual de perdas;

(iv) determinação dos métodos de controlo activo de perdas em utilização e do seu custo, bem como da disponibilidade e custo de métodos alternativos;

(v) cálculo do nível económico de perdas para os métodos de controlo de perdas em utilização;

(vi) análise da possibilidade de proceder a campanhas de redução de pressões, como primeiro passo na redução de fugas;

(vii) revisão das alternativas disponíveis em termos de métodos de controlo de perdas, e identificação das opções que eventualmente sejam preferíveis às actuais, em função do respectivo nível económico de perdas;

(viii) implementação dos métodos escolhidos;

(ix) avaliação do desempenho para a nova situação.

Trata-se de um processo contínuo, que na realidade tem como último passo o reavaliar da situação, voltando periodicamente a (iv). No médio e longo prazo poderão ter de ser revistos os

objectivos estratégicos. O presente estudo pretende desenvolver, nos capítulos que se seguem, os diferentes aspectos implicados nas actividades acima citadas.

### 6.4.2 Definição de objectivos estratégicos

*Nível económico de perdas reais*

Já se referiu que para que ocorra o nível económico de perdas é necessário estar-se perante o *nível económico de perdas reais*, (NEPr). Assim, os objectivos estratégicos para cada zona de medição e controlo ou para cada subsistema deverão ser definidos de modo a investir em controlo activos de perdas reais tanto quanto o benefício corresponder o compense.

Também já se referiu que se usa, sempre que aceitável, o NEPr de curto prazo (NEPr-CP), por ser mais fácil de calcular do que o de longo prazo, NEPr-LP. O cálculo do NEPr-CP normalmente não é mais do que uma análise dos custos marginais de detecção e reparação de perdas reais *versus* os benefícios marginais da água que deixa de se perder em fugas e extravasamentos. No entanto, podem ser incluídas outras actuações, como a gestão de pressões, se não se estiver perante a necessidade de investimentos significativos a médio e longo prazo. Pode-se definir simplificadamente como a situação em que o custo marginal do controlo activo de fugas equilibra o custo marginal da água perdida por fugas.

A maioria dos sistemas de distribuição de água não possui um só nível económico, mas sim vários, um para cada zona diferenciada da rede.

A Figura 21 apresenta graficamente, de forma simplificada, o conceito de nível económico de perdas em termos de custos totais *versus* nível de perdas. Com o aumento das perdas, o custo total da água perdida aumenta. Por outro lado, os custos do controlo activo de perdas diminuem com a relaxação (aumento) dos níveis permitidos (deve notar-se o crescimento exponencial desses custos quando os níveis de perdas tendem para zero). A curva total, obtida pela soma das duas, tem um mínimo que corresponderá ao nível económico de perdas.

O custo marginal da água, determinado pelo custo associado à origem de água mais cara da rede no caso de origens múltiplas, é o custo que seria economizado reduzindo o volume de água

abastecida em 1 m$^3$. O custo marginal do controlo activo de perdas é o preço, para um determinado nível de perdas, de reduzir o volume perdido em 1 m$^3$. O nível económico de perdas encontra-se no ponto em que as duas curvas dos custos marginais têm declives simétricos.

O cálculo do custo marginal da água é um campo bem documentado, pelo que neste manual apenas se detalha o custo marginal do controlo activo de perdas.

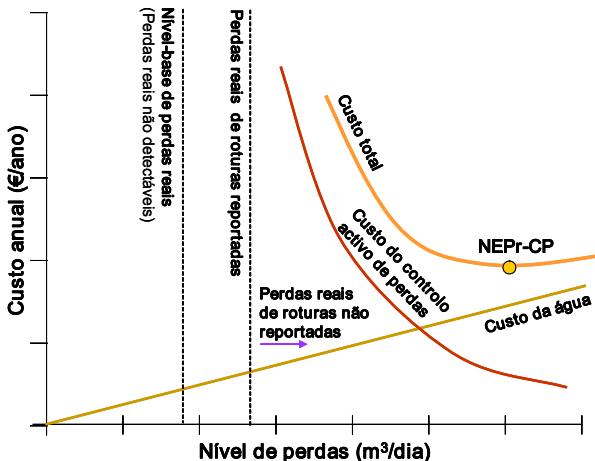
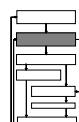



Figura 21 – Nível económico de perdas reais

### *Custo marginal do controlo activo de perdas*

A estimativa *a priori* do custo marginal do controlo activo de perdas é menos evidente que o cálculo do custo marginal da água. A abordagem recomendada internacionalmente (WRc, 1994a; Thornton, 2002; Farley e Trow, 2003) fundamenta-se na modelação de dados obtidos pela prática corrente da entidade gestora em termos de controlo de perdas e dos respectivos níveis de perdas (ver Capítulo 7). Baseia-se na consideração de que o menor valor de perdas que se poderá atingir é o nível-base de perdas. A este valor acrescem as perdas inerentes às roturas reportadas que ocorrem mesmo em situação de grande investimento em controlo activo (Figura 21). O esforço financeiro para manter um sistema neste nível é elevado e economicamente pouco razoável. No outro extremo situa-se o nível passivo de perdas, correspondente à situação em que não se investe em controlo activo de perdas, sendo estas controladas apenas através

da reparação das roturas evidentes detectadas pelo público e pessoal da entidade gestora.

O nível real de perdas e o correspondente custo do controlo activo estarão situados algures entre estes dois extremos, onde se situa o potencial de melhoria (Figura 21). O nível económico de perdas corresponde ao mínimo da soma entre o custo da água perdida e o custo do controlo activo de perdas, correspondente ao ponto onde os declives das duas parcelas têm igual valor, mas de sinal contrário (Figura 21, ponto NEPr-CP).

WRc, 1994a propõe um método para determinar a curva de custo do controlo activo de perdas com base nos dois valores extremos referidos e em pelo menos mais um ponto, obtido através da experiência prática da entidade gestora.

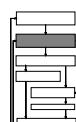
Deve no entanto manter-se presente que o custo marginal de uma qualquer estratégia de controlo activo de perdas, seja qual for o nível de perdas, só pode ser confirmado na prática após a estratégia ter sido aplicada e os respectivos resultados avaliados. Trata-se de um processo evolutivo para uma entidade gestora, pois se, por um lado, necessita dessa experiência para poder melhor quantificar, avaliar e decidir a estratégia a adoptar, por outro lado torna-se imperativo que proceda desde o início a uma análise tão completa quanto lhe for possível, no sentido de poder efectivamente tirar partido dessa informação no futuro.

Na prática, os custos contabilizados resumem-se frequentemente aos custos marginais de mão-de-obra e de combustível das equipas que procedem a localização de fugas. Existe alguma polémica sobre a incorporação de custos tais como os custos de reparações decorrentes da localização de fugas, embora tendencialmente seja esta a opção seguida. Autores como por exemplo Farley e Trow (2003) referem as razões: a reparação de roturas detectadas através de técnicas de detecção e localização apenas antecipa a realização dessas reparações, que mais cedo se tornariam aparentes e seriam realizadas, eventualmente já em fase mais avançada do problema, com reparação mais onerosa.

### 6.4.3 Identificação e caracterização preliminares

Esta fase assume maior relevância e dificuldade quando se trata de sistemas de abastecimento de água que não sejam do conhecimento directo dos responsáveis pela definição a estratégia de controlo de perdas. Assim, é evidente a necessidade de

envolver, em diferentes passos, diferentes sectores da entidade. Concretizando, é necessário:

- Identificar os limites de todos os subsistemas existentes, nomeadamente confinados por reservatórios ou instalações elevatórias próprias, ou constituindo zonas de pressão;
- identificar claramente todos os pontos de abastecimento de cada subsistema, bem como os pontos de transferência de água para outros sistemas ou subsistemas;
- verificar se todos os locais identificados no ponto anterior dispõem de equipamento de medição de caudal ou de nível que permita estabelecer os balanços de massas nos principais subsistemas;
- verificar se existe um sistema de gestão de bases de dados de consumidores que permita com facilidade e rapidez obter os consumos médios anuais medidos e estimados em cada um dos subsistemas, de modo a minimizar tanto quanto possível as tarefas a executar manualmente;
- verificar a existência e a operacionalidade dos modelos de simulação existentes para apoiar as fases seguintes, particularmente a avaliação do nível actual de perdas nas redes de distribuição de cada uma das zonas de pressão da cidade e na definição dos limites das zonas de medição e controlo.

Estes passos são muito importantes para que seja possível fazer balanços hídricos credíveis que permitam definir prioridades de actuação.

A satisfação de todos os pontos anteriores corresponde a uma situação privilegiada, de nível de desenvolvimento elevado. Deve ser entendida como uma meta a atingir progressivamente, antes da qual os resultados serão certamente menos exactos e provavelmente de obtenção mais consumidora de tempo.

### 6.4.4 Determinação do nível actual de perdas

*Perdas no transporte e perdas na distribuição*

Quando os sistemas contemplam simultaneamente funções de adução e de distribuição, é recomendável calcular separadamente as perdas correspondentes a cada uma destas funções. Em redes antigas e complexas, encontram-se com alguma frequência condutas que simultaneamente distribuidoras para um centro urbano e adutoras para aglomerados urbanos limítrofes. Nestes

casos, é desejável que a rede seja progressivamente estruturada e equipada, de modo a poder vir a efectuar-se este cálculo com rigor satisfatório e a separar as duas funções para condições normais de funcionamento. A utilização criteriosa do modelo matemático pode ajudar a estimar o caudal de uma ou outra derivação que não disponha de medidor. Pelas razões expressas, é inevitável que os modelos não permitem avaliar a ordem de grandeza das perdas reais realmente existentes na rede de distribuição. Sem uma estimativa satisfatória deste valor não será possível avaliar o nível económico de perdas em termos de globalidade da rede ou de grandes subsistemas e decidir com base numa abordagem *"top-down"* quando e onde vale a pena investir na implementação de estratégias de controlo mais sofisticadas.

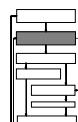
Perante esta situação, afigura-se haver duas atitudes a tomar: definir áreas de acção prioritárias com base na experiência da empresa e avaliar as alterações que seria necessário introduzir para que futuramente se possa basear o planeamento estratégico do controlo activo de perdas numa abordagem *"top-down"*, que se descreve seguidamente, suportada em informação fiável e suficientemente discriminada.

### *Abordagem "bottom-up"*

Numa fase intermédia, enquanto não for possível aplicar a abordagem *"top-down"*, a entidade gestora poderá seleccionar as primeiras áreas da rede a investigar com base em critérios empíricos, dos quais se salientam:

- Frequência actual de roturas;
- idade e materiais da rede;
- tipo (permeabilidade) de solo;
- nível freático;
- tipo de ocupação socio-demográfica.

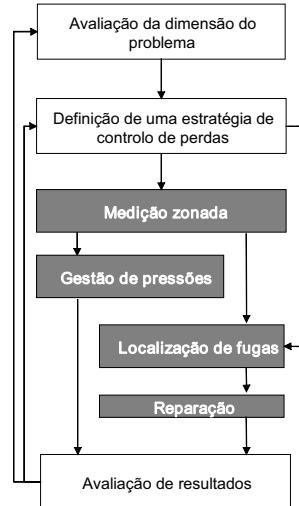
A aplicação desta abordagem permite, sem grandes riscos de erro, seleccionar algumas áreas da cidade claramente mais problemáticas e a necessitar intervenção urgente. Este passo é muito importante por permitir começar a resolver problemas existentes e simultaneamente aumentar a experiência e o domínio sobre as novas técnicas envolvidas. A avaliação do nível de perdas será então efectuada para cada uma destas áreas. A concretização desta fase constituirá já um grande progresso.

Porém, uma vez cobertas as áreas onde a necessidade de intervenção é mais óbvia, é muito importante passar a adoptar progressivamente uma abordagem estruturada, apoiada em estudos técnico-económicos.

### *Abordagem "top-down"*

A aplicação da abordagem *"top-down"* consiste na avaliação das necessidades de intervenção, inicialmente para a globalidade do sistema, depois por grandes subsistemas, e progressivamente em menores áreas que abasteçam de 2 000 a 6 000 habitantes-equivalente. Isto implica a determinação gradual das perdas actuais aos vários níveis de discretização.

Em resumo, para estruturar correctamente uma estratégia global de controlo de perdas, será conveniente vir a dispor dos meios que permitam avaliar separadamente as perdas relativas à rede de adução e à rede de distribuição.

### *Custos pontuais*

A adopção de novos métodos de controlo de perdas, no sentido de se atingir o nível económico ou apenas para melhorar o existente, implica frequentemente investimentos pontuais, tais como a recuperação do trabalho em atraso em termos de reparação de roturas já identificadas, ou o custo de equipamento novo como medidores, *dataloggers*, etc. Este tipo de custos deverá naturalmente ser incluído em qualquer análise económica.

# 7. INTERVENÇÕES PARA CONTROLO DE PERDAS REAIS

## 7.1 Tipos de intervenção para controlo activo de perdas

Existem diversos métodos de controlo activo de perdas reais. A medição zonada, embora não incorpore directamente o controlo de perdas em si, é basilar para conhecer a distribuição espacial das perdas reais e para proceder à sua quantificação numa perspectiva de estabelecimento de níveis de zonamento progressivamente mais detalhado. Constitui assim o ponto de partida para a aplicação de outros métodos, como sejam a gestão de pressões e as técnicas de localização e reparação de fugas. A dimensão das zonas de medição e controlo e o tipo de equipamento adoptado variam caso a caso, existindo ainda a possibilidade de a monitorização ser temporária ou permanente.

**A medição zonada é o ponto de partida para o controlo de perdas reais**

A partir do momento em que se disponha já de zonas de medição e controlo, é importante aplicar para cada uma todos os princípios básicos listados na secção 6.4.1 para o estabelecimento de uma estratégia de controlo activo de perdas. Deve-se repetir periodicamente a análise da adequabilidade das soluções em prática, segundo estes princípios, de modo a garantir o dinamismo necessário à permanente adequação às novidades tecnológicas e às evoluções do sistema de distribuição.

Na secção seguinte descreve-se pormenorizadamente o modo como se pode pôr em prática a medição zonada para apoio ao controlo de perdas reais.

## 7.2 Medição zonada

### 7.2.1 Nota introdutória

O desenvolvimento dos sistemas de distribuição de água acompanhou quase sempre a lenta expansão dos aglomerados urbanos, com ampliações e reforços sucessivos de modo a responder às novas solicitações da sociedade.

Como resultado natural, a generalidade das redes existentes são complexas e pouco estruturadas, o que as torna difíceis de gerir. Mesmo quando não é este o caso, a concepção tradicional e a prática efectiva no terreno privilegiam o estabelecimento de tantas ligações redundantes quanto possível, a fim de aumentar a fiabilidade da rede.

Hoje em dia a tendência consagrada, nos países onde se procura uma gestão racionalizada dos sistemas e dos recursos, é diferente. Consiste na criação de estruturas modulares interligadas, proporcionando redundância de pontos de abastecimento em caso de necessidade, mas conferindo a cada módulo, ou sector, um funcionamento simples e mais facilmente controlável. A modularização de sistemas existentes pode ser conseguida com obras que permitam:

Nas redes devem-se criar estruturas modulares, mas fáceis de gerir

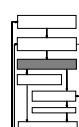
- Separar a componente de adução da componente de distribuição;
- criar andares de pressão independentes quando as diferenças de cotas topográficas o justificarem;
- sectorizar a rede em zonas de reduzida dimensão, de modo a poder medir os caudais fornecidos a cada uma e, eventualmente, ajustar as pressões de funcionamento ao longo do dia de acordo com as necessidades; por vezes as zonas não podem ser mantidas sectorizadas em permanência por o funcionamento hidráulico resultante não ser satisfatório, mas podem ser utilizadas por períodos de tempo limitados no âmbito de procedimentos de controlo de perdas de água.

Embora em Portugal seja comum medir apenas os caudais bombeados e os caudais afectos a transacções comerciais, a situação está progressivamente a mudar, à medida que se adoptam práticas de gestão mais modernas, e se difunde a percepção de que gerir racionalmente um sistema pressupõe a disponibilização de dados que permitam suportar as principais decisões. Numa rede de água os dados mais importantes são os caudais, as pressões, os níveis em reservatórios e certos parâmetros de qualidade da água.

O investimento necessário para sectorizar e equipar satisfatoriamente uma rede é significativo e, frequentemente, não é possível fazê-lo com a celeridade desejável. Contudo, sempre que se executam obras de expansão ou reabilitação numa dada zona devem ser executadas as obras que possibilitem à posterior instalação de equipamentos de medição.

**Em sistemas existentes, a sectorização faseada é possível e desejável**

A medição zonada é uma técnica de controlo de caudais, e de apoio ao controlo de perdas, que envolve a divisão criteriosa da rede de distribuição num conjunto de zonas discretas, de contornos fixos e rigorosamente identificados, cujas entradas e saídas de água são controladas, em campanhas temporárias periódicas ou permanentes de medição de caudais, de forma a obter-se informação detalhada sobre o balanço de caudais e o comportamento dos consumos. Designam-se tais subdivisões da rede por Zonas de Medição e Controlo, ou abreviadamente ZMC[4]. A Figura 22 exemplifica um sistema de medição zonada.

**O que é uma ZMC?**

A dimensão de uma ZMC é muito variável, dependendo dos condicionalismos locais, em especial a topologia da rede, a densidade populacional e a densidade de ramais. Estes factores influenciarão também o número de pontos de entrada de caudal, embora por razões de economia e simplicidade de operação se procure uma configuração de válvulas que permita reduzir este número ao mínimo possível.

Esta metodologia é largamente utilizada em Inglaterra e no País de Gales, no âmbito das estratégias de redução de perdas, onde é promovida pelos órgãos tutelares e pela indústria da água em geral, tendo sido oficialmente introduzida no final da década de 70

---

4 A designação foi introduzida na última década (Coelho *et al.*, 1994), por adaptação do termo britânico DMA ("District Metering Area") e encontra-se actualmente bastante difundida, pelo que será utilizada no presente texto.

com a publicação do “Report 26” (WAA e WRc, 1980), como é habitualmente designado. A sua sistematização e simplicidade conceptual conferem-lhe uma grande aplicabilidade, fornecendo em geral resultados bastante satisfatórios.

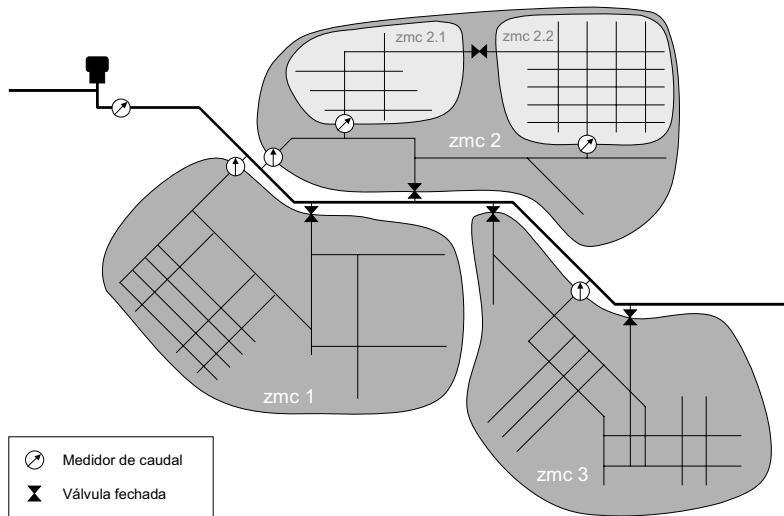



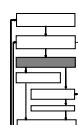
Figura 22 – Um sistema de medição zonada, com 3 zonas principais, estando a zmc 2 subdividida em duas subzonas.

A metodologia foi sendo sucessivamente refinada ao longo das duas últimas décadas, especialmente com a generalização do uso de simuladores hidráulicos e com a progressiva introdução de objectivos mais orientados para a optimização da eficiência operacional, por oposição à ideia inicial de minimização *simples* das perdas (Farley e Martin, 1994).

A medição zonada é utilizada em Inglaterra e no País de Gales para quantificar perdas em redes de distribuição através de dois métodos de cálculo baseados no balanço hídrico e na observação do comportamento dos consumos: o *método dos caudais totais* e *o método dos caudais nocturnos*.

O que é o método dos caudais totais?

O **método dos caudais totais** baseia-se na contabilização volumétrica do balanço hídrico dentro de cada zona de medição,

utilizando volumes de água medidos durante um intervalo de tempo, tipicamente uma semana, e subtraindo dos volumes de água afluente todos os volumes de água saídos e conhecidos, incluindo uma estimativa do consumo. O resultado será o volume de perdas nesse período, que deverá ainda ser decomposto nas componentes de perdas aparentes e de perdas reais (ver Capítulo 5).

O **método dos caudais nocturnos** baseia-se na observação do comportamento do caudal durante as horas de menor consumo, que ocorrem tipicamente durante a noite, e durante as quais é lícito supor que uma parte significativa (em geral, a maior parte) do caudal total escoado se deva a perdas reais, sendo essa fracção susceptível de ser estimada. Permite simultaneamente acompanhar o comportamento dos caudais nocturnos e detectar qualquer aumento súbito, que possa eventualmente ser associado a uma nova fuga, com maior clareza e prontidão.

O que é o método dos caudais nocturnos?

Ambos os métodos são úteis e complementares. O primeiro é mais útil para identificar prioridades de intervenção entre ZMC. O segundo é claramente mais adequado no âmbito da monitorização contínua ou de campanhas de curta duração, cotando-se nitidamente como o mais utilizado hoje em dia.

Neste domínio, a experiência obtida pelo LNEC em estudos experimentais de caracterização de consumos de água (Coelho, 1990; Alegre e Coelho, 1993; Alegre, 1994; Coelho *et al*., 2002) demonstrou ser possível e desejável melhorar o conhecimento sobre o nível de perdas combinando os dois métodos anteriores. O registo contínuo dos caudais fornecidos a uma zona para seu consumo próprio permite analisar pormenorizadamente o caudal nocturno, avaliando simultaneamente que percentagem representa da totalidade do caudal fornecido. No âmbito do controlo activo de perdas de água é particularmente relevante associar de forma sistemática a medição da pressão à medição de caudal.

A modalidade mais utilizada hoje em dia no Reino Unido é a chamada monitorização contínua de caudais nocturnos, definido pela *National Leakage Initiative* como a medição e registo de caudais nocturnos em ZMC, medidos e registados em pelo menos 20 ocasiões diferentes durante o ano. Deve acrescentar-se que o período de monitorização não será habitualmente inferior a 7 dias, podendo naturalmente ser bastante mais longo.

A monitorização contínua de caudais tem provado constituir uma técnica eficaz para controlo de perdas tanto no Reino Unido como noutros países em que tem sido utilizado, como sejam a Alemanha ou os Estados Unidos da América. O melhoramento da gama de utilização e eficácia dos medidores mecânicos de caudal e a disseminação de medidores electromagnéticos e ultra-sónicos, a custos decrescentes e nas dimensões mais adequadas para a medição zonada, juntamente com o desenvolvimento de técnicas de recolha e registo de dados cada vez mais fiáveis, por recurso a *dataloggers* ou telemetria, têm encorajado o uso da monitorização contínua e contribuído para o seu sucesso.

Para além do apoio ao controlo de perdas, a medição zonada permite um conhecimento mais substanciado do comportamento dos consumos efectivos no sistema, e da resposta hidráulica do próprio sistema a essas solicitações

Nas secções seguintes introduzem-se alguns princípios gerais orientadores para a implementação de um sistema de medição zonada, nomeadamente, o processo de concepção e instalação de um sistema de medição zonada, a gestão de um sistema de medição zonada e a manutenção do sistema desde os contornos das zonas ao equipamento e instalações especiais.

A Figura 23 esquematiza as diferentes fases em que se divide o processo de concepção e instalação de um sistema de medição zonada.

Planeamento preliminar do sistema de medição zonada

Simulação hidráulica e concepção das ZMC

Concepção de ZMC

Levantamento das condições locais

Selecção dos pontos de medição

Selecção / aquisição de medidores e *dataloggers*

Realização das obras de construção civil e instalação de medidores e *dataloggers*

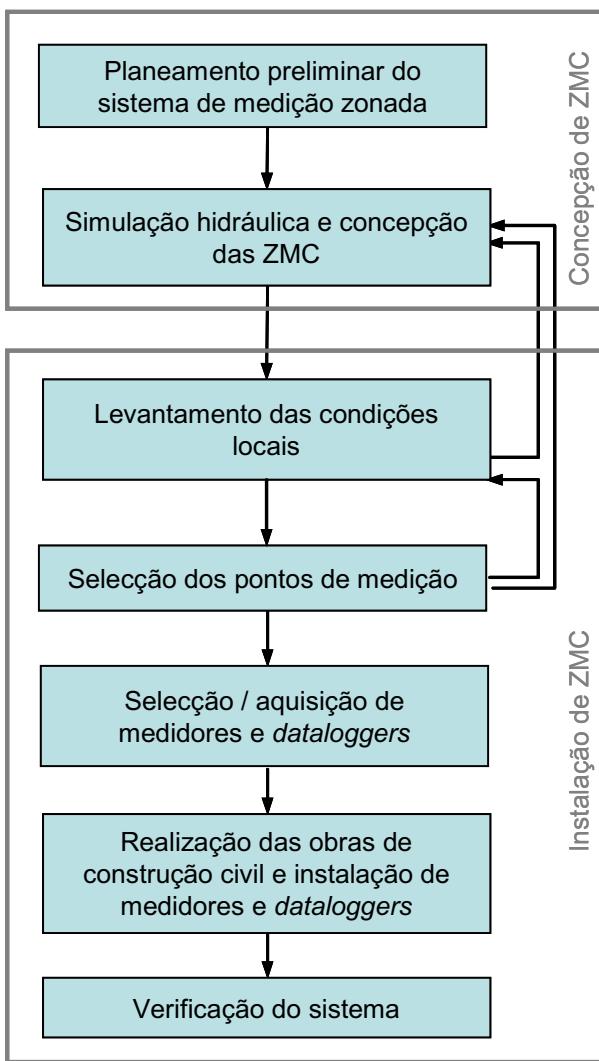
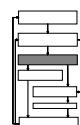
Verificação do sistema

Instalação de ZMC

Figura 23 – Fases da concepção e instalação de um sistema de medição zonada

## 7.2.2 Concepção de Zonas de Medição e Controlo

*Princípios básicos*

A medição zonada, enquanto parte de um processo de caracterização de consumos e caudais, e de apoio ao controlo

activo de perdas em redes de distribuição, é normalmente utilizada em duas fases distintas.

Numa primeira fase, em que se estabelece o esquema de medição, a rede é totalmente dividida num conjunto de ZMC, com limites permanentes e definidos, de modo a permitir a medição regular dos caudais zonais. Isto permite desde logo a identificação de variações súbitas no volume de perdas, correspondentes a roturas e avarias não detectadas directamente, e a quantificação e subsequente controlo das perdas.

Onde se revele tecnicamente viável e economicamente justificável, uma segunda fase, complementar da primeira, corresponderá à aplicação de técnicas de gestão de pressões dentro de ZMC ou conjuntos de ZMC, de modo a tentar reduzir gradualmente o volume de perdas ao mínimo possível. A gestão activa de pressões é detalhada na secção 7.3.

Um sistema de medição zonada consistirá assim de um conjunto de ZMC, cada uma equipada em permanência de um (ou mais) medidores de caudal no(s) pontos(s) de alimentação e saída de caudal, idealmente acoplados a sistemas de registo dos valores medidos e/ou a equipamento de transmissão remota. Em certos casos poderá ser necessário optar pelo estabelecimento temporário das ZMC, sobretudo na fase inicial do processo.

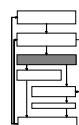
As condições topológicas, funcionais e operacionais da rede de distribuição são determinantes para a configuração das ZMC. Nomeadamente, influenciarão o número de pontos de alimentação/medição e o modo de interacção entre zonas vizinhas.

### *A medição zonada e a simulação hidráulica*

O sucesso de um sistema de medição zonada depende em grande medida do uso correcto das ferramentas de análise disponíveis, das quais a mais importante é, sem dúvida, a modelação matemática do comportamento hidráulico da rede.

**A simulação hidráulica ajuda a definir os limites das ZMC**

Por outro lado, a construção de modelos de simulação hidráulica bem calibrados é grandemente facilitada pela disponibilização de dados sectoriais de consumo, só possíveis na presença de um sistema bem sectorizado e dispondo de medição zonada.

Os dois processos beneficiam-se assim mutuamente, e potenciam os resultados de ambos em termos de eficácia de gestão da rede.

As alterações normalmente introduzidas aquando do estabelecimento de ZMC, com a reconfiguração de válvulas e instalação de medidores, terão maior ou menor influência nas condições operacionais do sistema, tanto parcelarmente como na sua globalidade. Torna-se necessário um planeamento cuidadoso para evitar que o desempenho hidráulico se deteriore ou que limitações operacionais desfavoráveis sejam introduzidas.

A simulação hidráulica é essencial no ganho de sensibilidade ao comportamento do sistema, sob as novas condições operacionais. O processo de divisão em ZMC deverá ser apoiado pela simulação hipotética das novas condições, num processo iterativo que procurará reduzir o impacto das alterações no desempenho do sistema e simultaneamente maximizar a eficácia do sistema de medição zonada.

O modelo de simulação deverá ser desenvolvido e calibrado para um sistema antes da divisão em ZMC. O fecho progressivo das fronteiras entre zonas de medição permite também o ajuste faseado e a recalibração do modelo, num processo com os seguintes objectivos:

- Identificação de limitações e erros de configuração no sistema existente, com a possibilidade de correcção localizada, caso se justifique, ainda antes do estabelecimento do novo esquema. Exemplos típicos de problemas que os modelos de simulação ajudam a identificar nesta fase são as válvulas erradamente abertas ou fechadas, redutores de pressão mal ajustados, etc..
- planeamento iterativo da divisão em ZMC, permitindo a simulação dos efeitos das alterações topológicas e operacionais nas pressões da rede e a modificação de zonas desfavoráveis — por exemplo, zonas com estagnação de caudais ou com pressões baixas — antes de se passar à fase de implementação.
- simulação e análise dos regimes de entrada de caudal nas ZMC, permitindo a selecção do número e configuração ideal de pontos de medição e escolha dos respectivos equipamentos.

Como se procurará evidenciar no texto subsequente, a simulação hidráulica serve de apoio a muito do trabalho de dimensionamento e implementação de medição zonada. No entanto, deve notar-se que o correcto desenvolvimento e validação de modelos de

simulação implica um volume considerável de trabalho, tanto computacional como de campo, podendo facilmente introduzir atrasos na implementação da medição zonada se os modelos não estiverem disponíveis à partida.

Por outro lado, dispensar a simulação hidráulica pode comprometer seriamente a eficácia do método e inutilizar o investimento feito. Na prática, verifica-se frequentemente, que o desenvolvimento da modelação matemática e o dimensionamento e implementação de medição zonada podem decorrer em paralelo com resultados satisfatórios. Reservas colocar-se-ão naturalmente em redes onde se verifique discordância flagrante entre o modelo e a realidade, ou onde a divisão em ZMC seja menos evidente, especialmente quando haja lugar a potenciais problemas de pressão, casos em que a validação cuidada do modelo é um pré-requisito absoluto.

### *Fases de concepção de um sistema de medição zonada*

A Figura 24 esquematiza as diferentes fases em que se divide o processo de concepção de um sistema de medição zonada (já anteriormente apresentadas na Figura 23).

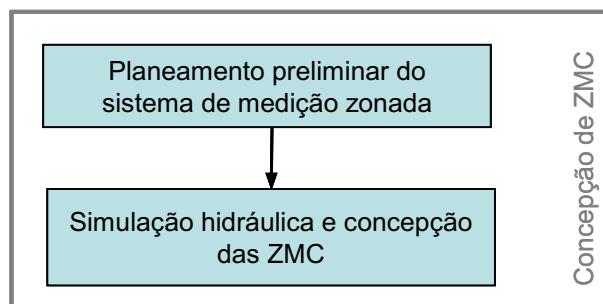



Figura 24 – Fases da concepção de um sistema de medição zonada

### *Planeamento preliminar do sistema de medição zonada*

Na concepção e planeamento preliminar das ZMC devem ser considerados os seguintes aspectos:

- *Dimensão*

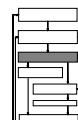
  O planeamento das ZMC é efectuado com base no cadastro da rede e no modelo de simulação. Conforme referido anteriormente, a dimensão de uma ZMC depende bastante das condições topológicas e operacionais da rede. Em redes

urbanas, o critério cada vez mais seguido em Inglaterra e País de Gales (Farley e Martin, 1994; WRc, 1994) aponta para um limite máximo de 3 000 ramais por zona de medição (aceitável em zonas urbanas com predominância de edifícios unifamiliares), acima do qual se considera ser difícil manter alguma eficácia na identificação e localização de áreas críticas e no controlo de perdas.

Qual a dimensão média de uma ZMC?

A utilização de zonas com cerca de 2 000 ramais, equipadas com medidores de caudal suficientemente flexíveis para poderem não só apoiar a actividade normal de medição como também registar os pequenos caudais verificados durante os testes de fecho progressivo ou subzonamento, parece revelar-se como o melhor compromisso.

Por outro lado, a dimensão mínima aconselhada para rentabilizar uma ZMC é de cerca de 500 ramais, embora em termos de custos tal dependa grandemente dos condicionalismos locais. A experiência alemã (Holtschulte e Laske, 1988), por exemplo, recomenda zonas de medição abastecendo 300 a 600 ramais.

Outro critério empírico também adoptado por algumas entidades gestoras é a extensão da rede da ZMC, da ordem de 10 km (em zonas urbanas densas).

- *Contagem de consumidores*

A prática britânica utiliza como unidade fundamental de referência o edifício ou "propriedade" (property), exprimindo nomeadamente o indicador do nível de perdas em litros por propriedade e por hora. No caso das redes urbanas portuguesas, poderá fazer-se a adaptação desse conceito utilizando o ramal de ligação.

É importante identificar os consumidores de cada ZMC

Neste caso, a enumeração e contagem de consumidores pode ser facilmente feita com base na respectiva identificação para efeitos de leitura e facturação, utilizando nomeadamente os ficheiros de computador que lhe correspondem.

O objectivo da operação é organizar para cada ZMC um ficheiro contendo todos os consumidores que sejam abrangidos pelos seus limites, procurando automatizar o cálculo do caudal total facturado na zona através da agregação dos valores registados para cobrança.

- *Definição de limites*

O processo de delimitação das ZMC deverá começar por ser baseado nas plantas de detalhe, tomando em consideração todos os diâmetros de tubagem até, pelo menos, 80 mm. Diâmetros inferiores poderão ser incluídos progressivamente à medida que se refina a delimitação.

O primeiro passo consistirá no estudo cuidadoso da porção de rede envolvida, recorrendo sempre que possível à experiência de modelação já existente e ao conhecimento directo por parte do pessoal de campo, procurando identificar potenciais áreas críticas. Os problemas mais comuns nesta fase são a existência de áreas com pressões baixas ou de pontos de abastecimento considerados essenciais, duas situações especialmente vulneráveis a manobras de reconfiguração de válvulas e redireccionamento de caudais.

Que critérios usar na definição dos limites de uma ZMC?

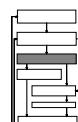
Ao tomar em linha de conta a dimensão preconizada para as ZMC, o processo de delimitação deverá tentar minimizar o custo de instalação e manutenção do esquema, procurando seguir a topologia natural e as fronteiras hidráulicas da rede, evitando cruzar condutas tanto mais quanto mais importantes elas forem. Deve-se procurar tirar partido de andares de pressão e outros subsistemas já existentes, em que a delimitação básica já existe e apenas será necessária a subdivisão e instalação de medidores.

Sempre que possível, as condutas principais (da ordem de grandeza de 300 mm ou superior) devem ser deixadas de fora das ZMC, por forma não só a evitar a instalação dispendiosa de medidores de maiores dimensões, mas também para refinar o processo de medição de caudais. Quando uma grande fracção do caudal que entra numa ZMC volta a sair para outras zonas, o processo de estimação de caudais (e de perdas) sofre geralmente uma redução na exactidão, por acumulação de erros nas várias medições.

As condutas principais podem ser evitadas definindo ZMC cujas fronteiras correm em paralelo à conduta de grande diâmetro e medindo os caudais das condutas de distribuição que dela saem, como se exemplificou na Figura 22. Dada a necessidade de tratamento especial das condutas principais, é importante que elas sejam previamente realçadas no cadastro. Caso se utilizem plantas geradas por um sistema de informação geográfica (SIG), ou o programa de simulação

hidráulica tenha a possibilidade de usar cores para diferenciar diâmetros, essa tarefa tem toda a vantagem em ser automatizada a priori.

Nos casos em que o número elevado de condutas secundárias tornaria dispendioso medir caudais em todas elas, poder-se-á fechar aquelas que forem hidraulicamente redundantes, desde que isso não resulte em pressões demasiado baixas. Caso essa solução seja impraticável, então terá de se optar entre cruzar a conduta principal com a fronteira da ZMC (fechando uma válvula ou instalando um medidor), ou deixar uma porção de rede fora do sistema de medição zonada e tratá-la posteriormente através de métodos não permanentes ou por diferenciação.

Quando se definirem ZMC baseadas em subsistemas de distribuição contendo reservatórios de serviço ou de equilíbrio, será necessário registar não só os caudais afluentes e (eventualmente) efluentes da zona, mas também as variações de nível no reservatório. No entanto, dado que os registos de nível se destinam fundamentalmente a estimar o volume de água disponível, raramente terão exactidão suficiente para ajudar a detectar pequenas mudanças em caudais nocturnos, a não ser em reservatórios muito pequenos. Será assim preferível recorrer à medição dos caudais de entrada e saída dos reservatórios.

*Simulação hidráulica e concepção das ZMC*

Como se referiu anteriormente, a possibilidade de utilização e manipulação de um simulador hidráulico é de extrema utilidade no processo de planeamento de um sistema de medição zonada.

Nesta fase o modelo permite aferir a viabilidade, do ponto de vista hidráulico, de instalar as ZMC definidas preliminarmente.

Assim, na fase de concepção e planeamento detalhado das ZMC, a utilização do modelo de simulação possibilita a identificação das tubagens que, atravessando as projectadas linhas de delimitação, transportem caudal suficientemente importante para justificar serem incluídas na monitorização (e não interrompidas), bem como aquelas cuja interrupção é aceitável, e também aquelas para as quais não se poderá tomar uma decisão nesta primeira fase.

Onde os caudais são baixos, é possível economizar em instalação de medidores fechando uma válvula existente ou,

excepcionalmente, instalando uma e fechando-a. Em qualquer dos casos, a simulação prévia no modelo permitirá estudar o efeito provável das alterações sobre a região circundante. Deve tomar-se em atenção consumos de ponta e variações sazonais, tal como se tratasse do projecto de uma nova rede.

Será também importante distinguir as condutas que transportam caudais baixos devido apenas a situações passageiras, como alterações ou reparações, daquelas que genuinamente assim funcionam.

Para que um modelo preexistente possa ser utilizado para esta tarefa, é ainda importante rever alguns aspectos associados à distribuição de caudais, às condutas de pequeno diâmetro e despiste de anomalias funcionais, respectivamente:

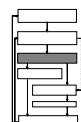
- Consoante o método de atribuição de caudais aos nós do modelo, deve-se verificar se a delimitação das zonas projectadas não introduz alterações nas áreas de influência ou nos coeficientes de utilização.
- Verificar se não existem condutas de diâmetro inferior ao limite mínimo do modelo, que atravessem as linhas de delimitação, caso em que devem ser incluídas na simulação.
- No que respeita ao despiste de anomalias funcionais, rever as simulações sobre as novas ZMC utilizando critérios de projecto, se o modelo utilizado permitir ou disponibilizar tais opções, no sentido de tirar partido dos mecanismos disponíveis no modelo para identificação de eventuais problemas.

Onde o modelo matemático confirmar a possibilidade de ser fechada uma válvula, é aconselhável a realização de um ensaio de pelo menos 24 horas durante o qual as pressões em pontos críticos nas redondezas são medidas, com o duplo objectivo de avaliar o efeito na prática (incluindo sobretudo a possibilidade de queixas por parte dos consumidores) e de fornecer uma achega à calibração do modelo na nova configuração. Identificando-se problemas de abastecimento, ou se põe de lado a hipótese, ou se instala um medidor.

A simulação hidráulica permite também a avaliação do efeito sobre as pressões na rede acarretado pela introdução das alterações projectadas. Essa avaliação deve incluir mais uma vez todas as situações de consumo previsíveis para o horizonte de

funcionamento do novo esquema, assumindo um procedimento semelhante a uma análise de sensibilidade ao comportamento hidráulico do sistema em face das diversas hipóteses em estudo para a divisão em ZMC. Importa a esse propósito referir a grande utilidade que poderão ter neste tipo de análise as ferramentas de avaliação integrada do desempenho dos sistemas (Alegre, 1994; Jowitt e Coelho,1994; Coelho,1997).

A uma escala menos aparente, o efeito das perdas de carga adicionais introduzidas pela instalação de medidores e respectivos acessórios pode também ser modelado e previsto pelo modelo, se bem que esse aspecto não assuma habitualmente relevância a não ser em zonas de pressões criticamente baixas.

Onde os resultados da utilização do modelo revelem a existência de problemas relacionados com a introdução do esquema proposto, será necessário voltar a planear o conjunto das ZMC problemáticas e proceder a um novo zonamento. Os aspectos focados destinam-se, assim, fundamentalmente, a alertar para as virtudes de um processo de planeamento cuidadoso apoiado pela simulação matemática, que permita evitar erros dispendiosos na execução do projecto, atrasos na sua implementação enquanto as correcções são efectuadas, e futuras dificuldades operacionais de menor ou maior gravidade.

Outro aspecto crucial no planeamento das ZMC é a localização preliminar dos medidores de caudal.

**Onde colocar os medidores de caudal?**

As plantas de escala na ordem dos 1:2 000 são as mais indicadas para o trabalho inicial de traçado dos limites de zona, identificação dos troços de tubagem intersectados, avaliação, em primeira análise, das melhores localizações para medidores e identificação das válvulas que necessitarão de ser isoladas.

No entanto, a localização exacta de novos medidores só pode ser decidida sobre plantas de maior detalhe, da ordem dos 1:500. É acima de tudo importante que se veja claramente o traçado da tubagem, para permitir a decisão sobre se determinado local é apropriado, se não será possível encontrar uma zona de passeio em vez de escavar em plena via, etc. Nesta fase é de grande utilidade a contribuição do pessoal de campo mais familiarizado com a área, pois não é raro as plantas de cadastro conterem incorrecções pontuais.

É também fundamental que se possam identificar claramente todas as válvulas, ligações, cotovelos e quaisquer outros

acessórios que possam ser relevantes ou constituir obstáculo à construção de uma câmara de medidor como a que se descreve mais adiante, incluindo todos os seus acessórios de tubagem. Sublinhe-se que aqueles acessórios podem não só dificultar a construção das câmaras, mas também perturbar o escoamento, pelo que se estipula uma distância mínima para cada lado, como adiante se verá.

Deve ser prevista desde logo a instalação dos medidores, na medida do possível, entre duas válvulas consecutivas, para permitir a sua remoção para manutenção ou reparação sem necessitar de investir em válvulas novas. Caso seja pretendido possibilitar a calibração de modelos de simulação, existe conveniência em procurar localizações que incluam um marco de incêndio a montante e uma válvula a jusante do medidor, para permitir a estimativa de perdas de carga unitárias na conduta.

### 7.2.3 Instalação de Zonas de Medição e Controlo

*Fases de instalação de um sistema de ZMC*

A Figura 25 esquematiza as diferentes fases em que se divide o processo de instalação de um sistema de medição zonada (já anteriormente apresentadas na Figura 23).

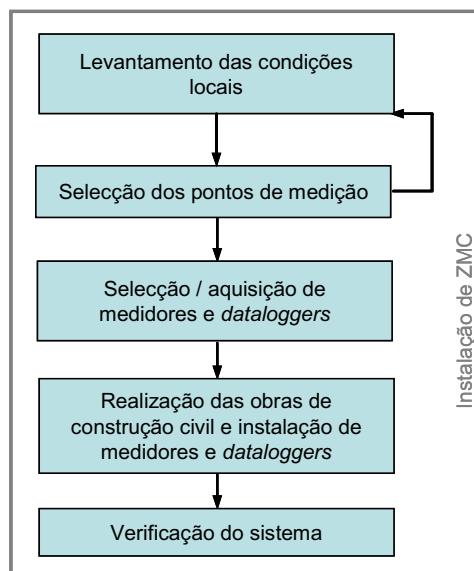



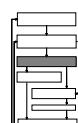
Figura 25 – Fases da concepção de um sistema de medição zonada

*Levantamento das condições locais*

No seguimento do trabalho de planeamento que culmina com a análise das plantas de detalhe, será necessário proceder-se a um levantamento cuidadoso do local escolhido para o medidor. É nesta fase que as incorrecções eventualmente contidas no cadastro são detectadas e em que alguma informação adicional, não registada, é obtida.

Uma observação importante prende-se com a vantagem de o levantamento de locais para instalação de uma determinada linha de delimitação dever ser feito todo na mesma altura, para permitir que toda a informação relevante seja obtida em simultaneidade. Mudanças na linha de delimitação, quando o trabalho de escavação já foi iniciado noutros pontos da mesma linha, são indesejáveis e potencialmente dispendiosas.

Como verificar o traçado de uma conduta?

A estratégia a seguir para verificação do traçado de um troço de conduta é a seguinte:

- Comparar o registo na planta de cadastro com as informações fornecidas pelo inspector da zona;
- observar a linha entre as válvulas visíveis, tomando as necessárias precauções para não confundir com válvulas pertencentes a outras condutas, especialmente ligações;
- utilizar um localizador para melhor identificar o traçado exacto.

Identificada a tubagem, é aconselhável fazer o reconhecimento completo dos acessórios mais próximos, registando e comparando com a planta.

Será também necessário nesta fase (independentemente do procedimento formal aquando da execução da obra) fazer o levantamento prévio, o mais completo possível, de outras infra-estruturas enterradas, no sentido de se evitarem localizações em que se posteriormente se venha a verificar existir congestionamento impeditivo.

No caso de estar prevista a telemetria em alguma das instalações planeadas, mesmo que numa fase posterior, é necessário nesta fase tomar precauções para garantir a disponibilidade local dos seguintes elementos, o mais próximo possível do medidor:

- Energia eléctrica;
- linha de comunicação, seja da rede telefónica pública, das redes celulares ou, menos frequentemente, via rádio;

- um espaço apropriado para construção de uma câmara separada para a instrumentação.

Finalmente, é ainda nesta fase que deve ser apreciada a possibilidade de instalação de um *by-pass* ao medidor, que permita futuro trabalho de manutenção, reparação ou substituição sem causar transtorno ao abastecimento.

Uma vez que o *by-pass* aumenta consideravelmente a área a escavar, haverá maior necessidade de espaço, devendo evitar-se ocupar zonas centrais das vias. O maior volume de escavação é apenas uma das componentes do custo extra de um *by-pass*, cuja principal desvantagem é de facto económica, com todo o investimento em tubagem, acessórios e mão-de-obra.

Tal poderá não compensar as vantagens de se dispor do dispositivo, especialmente em casos em que o isolamento temporário do troço não cause demasiados inconvenientes, por haver outras entradas de caudal na ZMC (naturais ou por abertura de válvulas de fronteira) que garantam o abastecimento pelo intervalo de tempo necessário à manobra de manutenção ou reparação. Esta poderá ser feita de noite para minimizar os potenciais transtornos no abastecimento.

### *Selecção dos pontos de medição*

No seguimento do levantamento das condições locais e da selecção da potencial localização do medidor, a localização exacta dos medidores requer, por vezes, a realização de trabalhos exploratórios de escavação. Há toda a conveniência em se proceder a uma escavação experimental que permita confirmar, ou não, a viabilidade do local escolhido. Em caso afirmativo, procede-se então ao trabalho definitivo.

**Para quê proceder a escavações experimentais?**

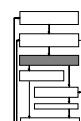
Depois dos obrigatórios avisos, em ligação com as entidades gestoras da restante infra-estrutura presente no local, efectua-se assim uma escavação experimental em que se expõe a tubagem e se avalia ou confirma o espaço realmente existente. Por outro lado pode também proceder-se a uma medição de caudal na tubagem para comparação com o trabalho de análise prévio.

Verifica-se, frequentemente, que uma escavação experimental permite revelar um nível de congestionamento em infra-estruturas subterrâneas superior ao previsto, se a fase de levantamento não tiver sido executada com rigor suficiente. As alternativas, nesse caso, vão desde a mudança de local, drástica ou apenas de

ajuste, à possibilidade de negociar com a entidade gestora da infra-estrutura impeditiva o desvio da sua instalação.

Como já se referiu anteriormente, se a ZMC incluir mais de um medidor, a situação ideal será a escavação experimental de todos os locais em simultâneo, pois isso permitirá uma maior flexibilidade em termos de traçado da delimitação, sendo as escavações só finalizadas após a verificação em conjunto de todas as localizações. Isto deve ser feito com a maior brevidade possível, pois qualquer escavação, experimental ou final, é uma obra que introduz frequentemente incómodos à circulação de pessoas ou veículos.

Para reduzir ainda mais o impacto de possíveis alterações, ou na impossibilidade de se escavarem todas as localizações em simultâneo, deve começar-se por aquelas que se antevê que possam ser mais problemáticas.

*Selecção do tipo de medidor de caudal a utilizar*

A selecção do tipo de medidor de caudal, que melhor se ajusta à gama de caudais esperada e às funções a desempenhar, é feita principalmente com base nos resultados da simulação hidráulica. Um aspecto importante é a escolha de medidores reversíveis se houver a possibilidade de inversão do sentido do escoamento na tubagem em causa.

Para além da actividade normal de medição, poderá ser necessário usar o medidor para apoio às técnicas de refinamento da localização das fugas, como o fecho progressivo. Para isso, a sensibilidade a caudais muito pequenos é uma característica importante. No Anexo 1 descrevem-se os principais tipos de medidores disponíveis.

Em complemento é também necessário proceder à selecção e aquisição dos sistemas de comunicação, arquivo de dados, seja local (com *dataloggers*) ou à distância. No Anexo 2 apresenta-se informação técnica sobre equipamentos de registo.

*Realização de obras de construção civil e instalação de medidores de caudal*

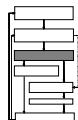
A dimensão da câmara que irá albergar o equipamento depende do tipo e tamanho do medidor, bem como da inclusão ou não de válvulas de isolamento, filtro (em geral de rede metálica) para retenção de matéria em suspensão e outros acessórios. Em

relação às válvulas, como já foi discutido, será muitas vezes possível tirar partido de dispositivos pré-existentes, sendo apenas necessário acrescentar uma válvula adicional.

A instalação de filtros é particularmente importante em zonas com problemas de transporte sólido na água e quando se pretenda utilizar um tipo de medidor que possa sofrer com isso, como certos tipos de medidores mecânicos.

A Figura 26 e a Figura 27 ilustram duas instâncias de câmaras de medidor, para configurações diferentes. Há naturalmente vantagem económica em se reduzir ao máximo o comprimento total da instalação, reduzindo assim o volume de escavação.

Estudos levados a cabo pelo Water Research Centre, no Reino Unido (WRc, 1994), sobre o efeito da proximidade ao medidor de acessórios, tais como curvas, estreitamentos, filtros e válvulas, estabelecem alguns critérios sobre distâncias mínimas. Devem sempre respeitar-se as indicações do fabricante, mas precauções como deixar 10 diâmetros de tubagem livre a montante e 5 a jusante do medidor são essenciais para não introduzir erros significativos na medição.

As dimensões da câmara devem ser suficientes para permitir acesso confortável à tubagem, principalmente para as manobras de instalação e remoção do medidor e acessórios. Deve ser deixado espaço suficiente para que as ferramentas necessárias possam ser utilizadas sem restrições. As dimensões mínimas típicas serão cerca de 1,0 x 0,6 $m^2$.

Adicionalmente, há que considerar uma série de aspectos relativamente ao equipamento de registo e telemetria.

Se estiver prevista a utilização de *dataloggers* na mesma câmara do medidor, por oposição a uma instalação própria, é importante que sejam previstas condições para tal. Recomenda-se a montagem de um suporte perto da abertura da câmara (no topo), que facilita a leitura do *datalogger* e elimina a tentação de o içar do fundo à custa do cabo de ligação, com efeitos nefastos na sua longevidade. Ao ser colocado perto do topo da câmara, o *datalogger* fica também mais afastado das fontes de humidade.

Devem também ter-se em conta nesta fase, se o projecto assim o previr para o medidor em causa, a possibilidade de instalação de um mostrador externo, separado do equipamento de medição ou mesmo de aparelhagem de telemetria.

O mostrador externo é um artifício de grande utilidade em muitas situações, como se discutirá mais à frente no texto. Quando a câmara do medidor ficar situada num local de acesso difícil ou inconveniente, como na faixa de rodagem de uma via importante ou sob um passeio frequentemente ocupado com automóveis estacionados, uma solução bastante prática é a instalação de um mostrador externo de leitura do medidor, habitualmente numa pequena câmara própria nas imediações. Esta é uma solução que, caso seja possível do ponto de vista de disponibilidade de equipamento, tem bastantes vantagens em ser adoptada como regra, até por ser bastante mais fácil a um inspector a abertura da tampa respectiva.

Por outro lado, a câmara do mostrador externo poderá ser também a câmara do *datalogger*, se este for utilizado. A instalação dos cabos de ligação é feita numa vala pouco profunda, sendo normalmente as curtas distâncias entre as duas câmaras.

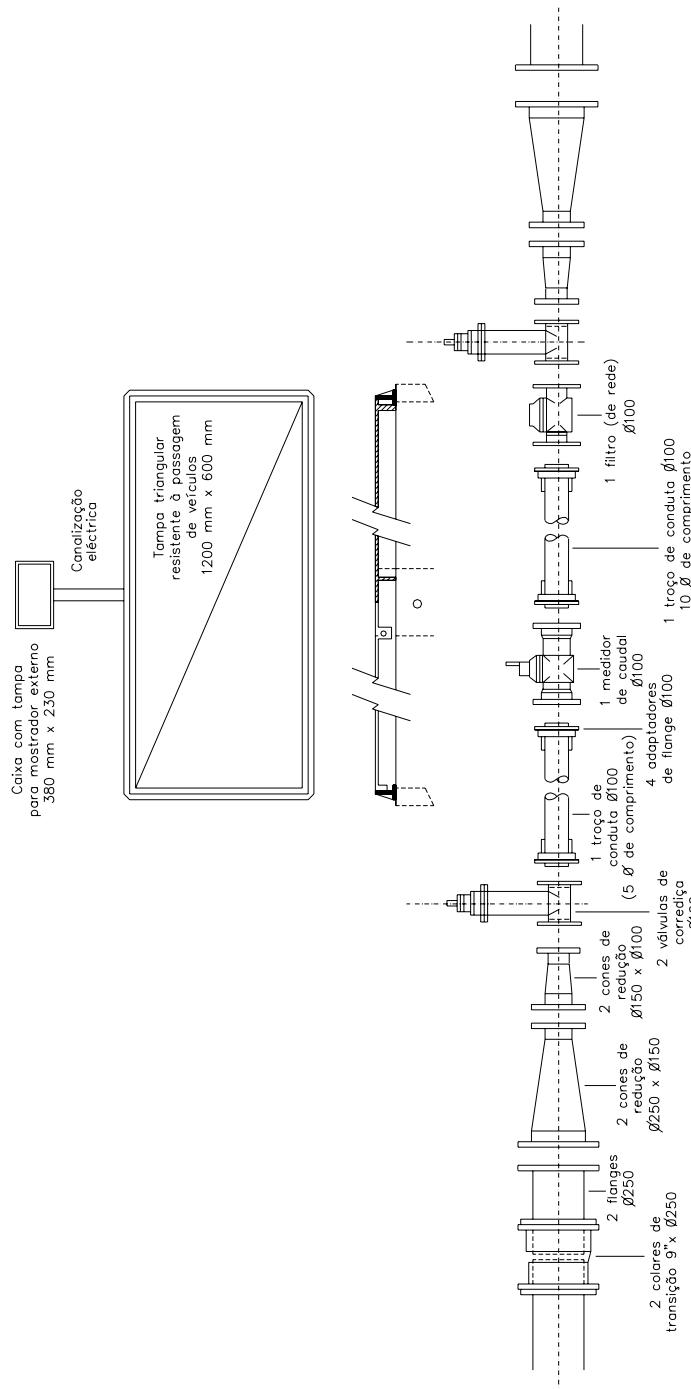



Figura 26 – Exemplo de instalação de medidor mecânico de 100 mm instalado em conduta de 225 mm, com 10 diâmetros de tubagem a montante e 5 a jusante, e válvulas e filtro exteriores à câmara

válvula de corrediça

medidor de caudal

filtro (de rede metálica)

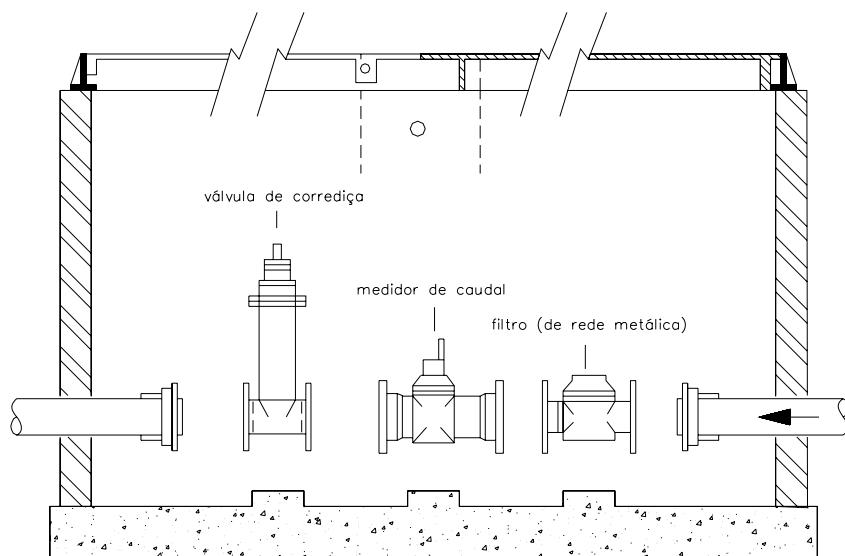
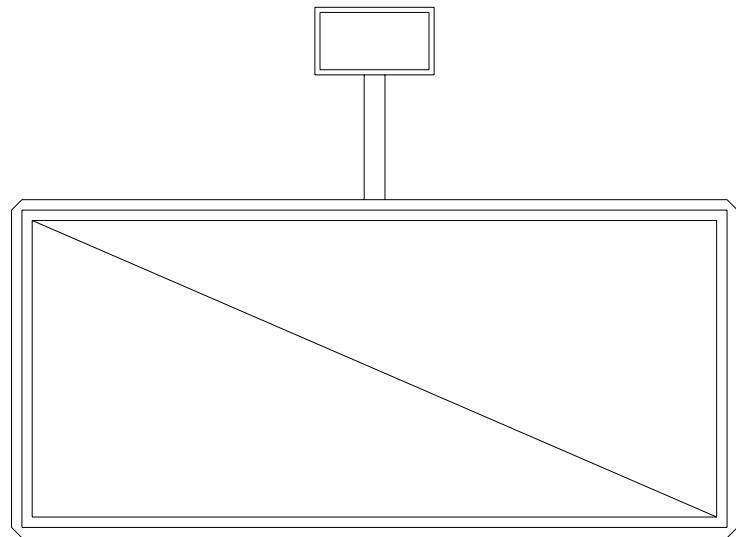
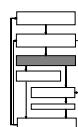
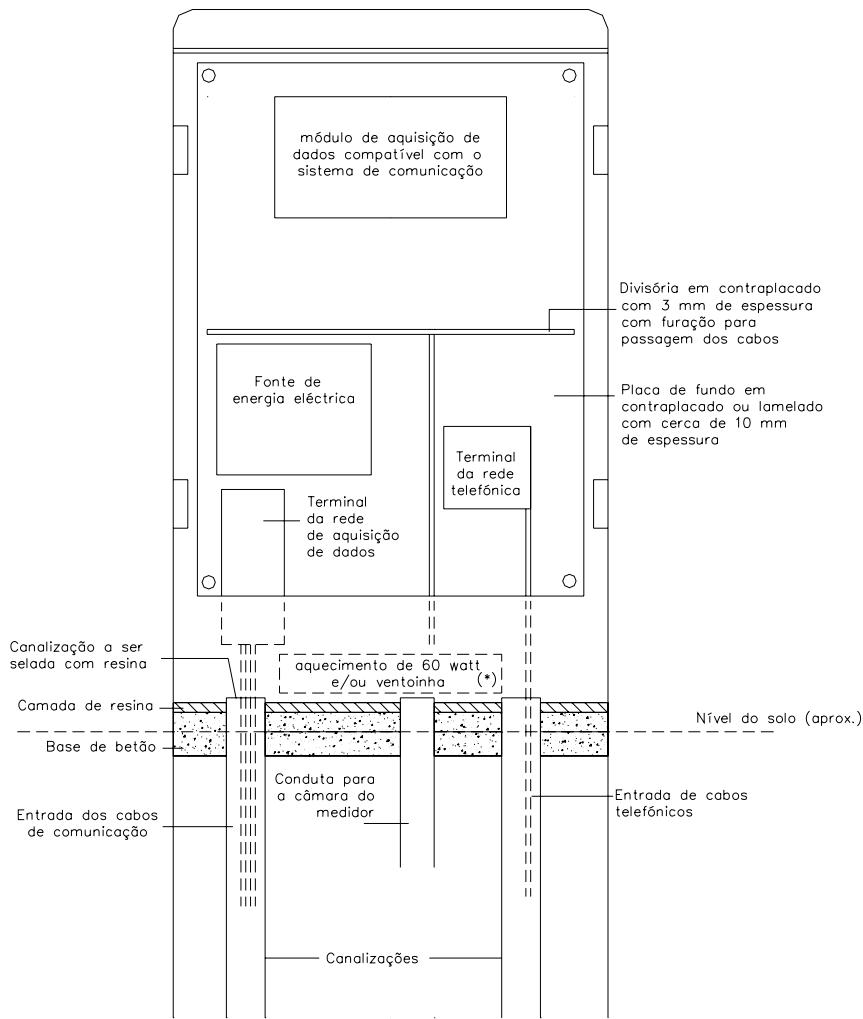
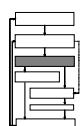



Figura 27 – Exemplo de instalação de medidor mecânico, idêntico ao da Figura 26 mas com uma das válvulas e o filtro instalados dentro da câmara.

Se a telemetria for uma opção prevista ou a manter em aberto como futura possibilidade, por exemplo para um conjunto seleccionado de medidores, deverão ser tomadas algumas precauções desde o início. Tudo o que foi dito quanto à conveniência de determinado local para a situação do medidor deve agora também ser verificado tendo em conta que será necessária uma câmara independente para albergar a estação de telemetria, e que esta necessitará de energia eléctrica e das linhas de comunicação seleccionadas (por exemplo, as linhas telefónicas).

Será portanto necessário prever um local para instalação de uma caixa à superfície (uma vez que irá conter equipamento alimentado por energia eléctrica, que não pode correr risco de imersão) para albergar a unidade de aquisição de dados, a unidade de transmissão, um eventual ventilador, transformador e restantes cabos e ligações. Serão estes elementos a ditar as dimensões necessárias. A Figura 28 fornece um exemplo de uma instalação de telemetria.

Uma breve menção deve fazer-se aos critérios para a câmara, de que se destacam a necessidade de robustez e durabilidade, tanto para resistência à intempérie como a eventual vandalismo, a relativa estanquidade e garantia de condições internas para funcionamento do equipamento (um ventilador é frequentemente necessário).

módulo de aquisição de dados compatível com o sistema de comunicação

Divisória em contraplacado com 3 mm de espessura com furação para passagem dos cabos

Fonte de energia eléctrica

Placa de fundo em contraplacado ou lamelado com cerca de 10 mm de espessura

Terminal da rede telefónica

Terminal da rede de aquisição de dados

Canalização a ser selada com resina

aquecimento de 60 watt e/ou ventoinha (*)

Camada de resina

Nível do solo (aprox.)

Base de betão

Conduta para a câmara do medidor

Entrada de cabos telefónicos

Entrada dos cabos de comunicação

Canalizações

(*) – Para evitar problemas de condensação e de temperaturas excessivas

Figura 28 – Exemplo de uma instalação preparada para albergar equipamento de telemetria.

*Verificação do sistema*

Uma vez completada a instalação do sistema de medição para a nova ZMC, será necessário verificá-lo, garantindo que:

- A fronteira da ZMC é "estanque", ou seja, todas as válvulas que devem estar fechadas o estão realmente;
- todos os medidores estão operacionais e a funcionar correctamente.

A metodologia recomendada para a tarefa de verificação consiste em efectuar-se um teste nocturno com *dataloggers* ligados a todos os medidores simultaneamente. Durante a hora de menor consumo deve experimentar-se fechar momentaneamente o abastecimento à ZMC e observar o comportamento dos caudais e pressões. A inspecção dos resultados deverá revelar se alguma válvula está a deixar passar água.

### 7.2.4 Gestão de um sistema de medição zonada

*Introdução*

A gestão de um sistema de medição zonada divide-se em duas fases distintas. A primeira é a fase de trabalho preliminar, que inclui a selecção das técnicas de monitorização, as necessidades de informação, incluindo a definição dos procedimentos de processamento da informação de exploração das ZMC, a procura do nível-base e a organização dos recursos humanos.

**Na gestão de um sistema de medição zonada há duas fases distintas a considerar**

Segue-se a fase de operação de rotina, em que a ZMC está finalmente a desempenhar as funções para que foi preparada. Esta fase inclui a monitorização de rotina, a interpretação de resultados, que consiste num conjunto de procedimentos cruciais relacionados com o modo como se utiliza a informação produzida pelas ZMC e, finalmente, a correcta manutenção do sistema de medição zonada.

A Figura 29 esquematiza as diferentes fases em que se divide o processo de gestão de um sistema de medição zonada.

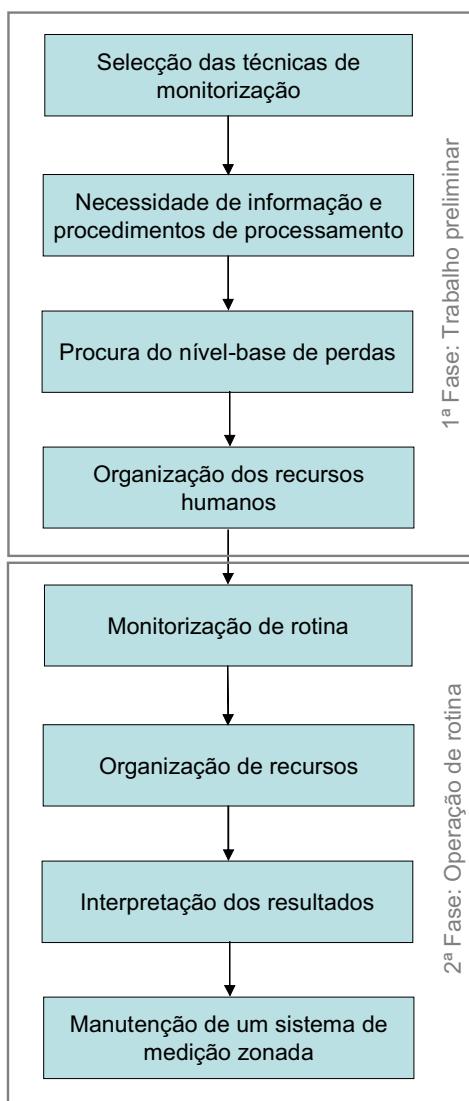
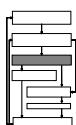



Figura 29 – Fases da gestão de um sistema de medição zonada

*Trabalho preliminar*

1ª fase da gestão de ZMC: trabalho preliminar

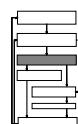
O trabalho preliminar na gestão de um esquema de medição zonada passa antes de mais pela selecção das técnicas de monitorização a utilizar, sendo as principais opções a medição de caudais totais e a medição de caudais nocturnos. Tal processo é descrito na secção "Técnicas de monitorização", apresentando-se na secção "Necessidades de informação" a informação básica a compilar, incluindo a informação cadastral, a utilização dos registos de consumidores, de ocorrência de roturas e da sua reparação. Na secção "Procedimentos de processamento da informação" descrevem-se metodologias para análise das ZMC e dos padrões típicos de consumo. Na secção "Procura do nível-base de perdas " apresenta-se a metodologia para obtenção do nível-base de perdas. Finalmente, a secção "Organização dos recursos humanos" refere-se ao estabelecimento e organização dos recursos humanos envolvidos na gestão de um esquema de medição zonada.

*Técnicas de monitorização*

Os dois métodos de monitorização mais utilizados em esquemas de medição zonada são, como se referiu anteriormente, a medição de caudais totais e a medição de caudais nocturnos.

O método dos caudais totais baseia-se no cálculo do balanço hídrico dentro de cada zona de medição, utilizando volumes de caudal medidos durante um intervalo de tempo, e subtraindo dos caudais entrados todos os caudais saídos conhecidos. Este método é relevante para ZMC permanentes, permitindo acompanhar a evolução ao longo do tempo e estabelecer comparações entre ZMC.

No método dos caudais nocturnos utilizam-se apenas medições durante as horas nocturnas de menor consumo. Neste caso é possível observar com detalhe o comportamento dos mesmos caudais e detectar qualquer súbito aumento, eventualmente devido a uma nova fuga, permitindo actuar com rapidez.

Deve acrescentar-se que o período de monitorização não será habitualmente inferior a 7 dias podendo ser bastante mais longo consoante as disponibilidades.

*Necessidades de informação*

A informação necessária para, por um lado, proceder à definição e caracterização das ZMC e, por outro, calcular os caudais e volumes, agrupa-se em dois tipos: a informação designada de estática e a outra mais dinâmica que incorpora as variações ao longo do tempo.

**Qual a informação relevante na gestão de ZMC?**

A **informação estática** descreve as características físicas da rede de distribuição, delimitação e equipamento instalado nas ZMC, e deverá tanto quanto possível ser organizada de tal forma que, para cada zona, esteja compilada e facilmente disponível. Inclui os seguintes elementos:

- Planta de delimitação da ZMC – planta a escala de pouco detalhe (1:10 000 a 1:25 000), mostrando os limites e posicionamento da ZMC em causa em relação às ZMC vizinhas e ao restante sistema de distribuição, incluindo os respectivos elementos-chave como sejam reservatórios, condutas de grande diâmetro, instalações de bombeamento, andares de pressão, etc.
- Plantas de cadastro – as plantas detalhadas de cadastro (em geral 1:1 000 ou 1:2 000) na superfície coberta pela ZMC, fornecendo toda a informação relativa à rede e incluindo ainda a localização dos medidores. As válvulas que tomam parte activa na delimitação da ZMC deverão ser realçadas em planta, se possível com uma indicação do tipo "Válvula de delimitação de ZMC – Manter fechada" bem visível. Caso seja utilizada no terreno algum tipo de codificação quanto ao estado de fecho das válvulas (por exemplo, por cores), poderá e deverá utilizar-se a mesma convenção na planta. Esta informação é fulcral pois, para além de registo central da informação, a carta será também utilizada pelo pessoal de inspecção e equipas de reparação e manutenção, e é um dos elementos-chave para controlo dos erros de manobra de válvulas, um dos maiores inimigos da medição zonada. Em complemento, é de recomendar que seja compilada uma lista do estado de fecho das válvulas de fronteira, disponível a todo o pessoal envolvido, que deve ser mantida sempre actual.
- Planta da ZMC – planta a uma escala intermédia, que permita mostrar a totalidade da ZMC bem como a rede de distribuição, válvulas e medidores. Desenhada

normalmente sobre as plantas de distribuição, é de utilização mais confortável, especialmente durante trabalhos de campo, quando o número de plantas de cadastro necessárias para cobrir o território da ZMC em causa se tornar elevado e pouco prático. É o elemento mais utilizado, por exemplo, pelo pessoal de inspecção.

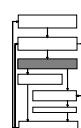
- Esquema da ZMC – trata-se de uma simplificação do formato da rede e contornos da ZMC, com os medidores e válvulas assinalados, que permita uma fácil assimilação do seu funcionamento, por exemplo para tarefas de análise de caudais ou simulação hidráulica. Justifica-se tanto mais quanto maior a complexidade de funcionamento da ZMC ou conjunto de ZMC, mas é o suporte ideal das referências às características dos medidores (ver item seguinte) e eventualmente ao sistema de armazenamento dos seus registos.
- Características dos medidores – o registo, informatizado ou em suporte de papel, das características de cada medidor instalado, contendo informação fundamental como seja a identificação ou número de série, o tipo e tamanho do medidor, a dimensão da tubagem, o factor de calibração, escala e exactidão, e o histórico das acções de manutenção e reparação. É importante que este tipo de informação seja separado dos registos gerados pelos próprios medidores, informação essa de cariz essencialmente dinâmico.
- A **análise do regime de caudais e dos padrões de consumo** da área em estudo é dos trabalhos preliminares mais importantes, uma vez estabelecida uma ZMC.
- A análise do regime de caudais, na fase preliminar, pretenderá fundamentalmente caracterizar a variabilidade dos caudais, e em especial dos seus mínimos nocturnos, a partir da qual serão determinados os três parâmetros fundamentais da futura monitorização de rotina:

É importante conhecer o comportamento dos diferentes tipos de consumos.

- O intervalo nocturno significativo, durante o qual o caudal mínimo nocturno ocorre (por exemplo, das 02:00 às 04:00), contando com uma margem razoável em ambos os sentidos para prevenir situações espúrias.
- A frequência ideal de monitorização, ou seja, a (menor) frequência de amostragem dos *dataloggers* ou registo

telemétrico que garanta a tradução fiel da variabilidade do caudal para o fim em vista (por exemplo: 1, 5, 15, 30 ou 60 minutos). Quanto maior a variabilidade, maior a frequência necessária.

- A duração ideal das campanhas de monitorização, ou seja, o (menor) número de dias de registo que permitirá obter uma ideia razoável dos diferentes tipos de padrões de variação diária ou sazonal.

Este último parâmetro será significativo nos casos em que se pretenda um controlo do esquema de medição zonada baseado em campanhas temporárias, por oposição à monitorização permanente.

Já foi referido que um dos efeitos paralelos de um esquema de medição zonada é o maior controlo e conhecimento que se obtém sobre o comportamento dos consumos, caudais, e consequentemente da rede. Daí que a decisão sobre se fazer monitorização contínua, ou não, deva ser tomada numa perspectiva geral. É importante, como se referiu, atentar na riqueza de informação obtida através de estudos de consumo como os descritos em Alegre *et al.* (1992), para a cidade de Lisboa.

Para o cálculo dos caudais perdidos, bem como para a actividade mais geral de gestão da rede, é importante não só quantificar o consumo, como categorizá-lo em função do tipo de consumidor. Este tipo de estudo é importante para cada ZMC em si e idealmente deveria ser feito para todas. No entanto, a possibilidade de se padronizarem certo tipo de comportamentos leva a que o estudo e tipificação de um número mais reduzido de zonas possa dar valiosas indicações extrapoláveis para outras.

Os estudos que fazem parte da caracterização preliminar de uma ZMC devem identificar os consumidores abrangidos pela respectiva delimitação, tal como se referiu em 7.2.3, de modo automatizado se possível, tirando partido dos registos de leitura e cobrança.

**Os grandes consumidores devem de ser identificados**

Há, no entanto, necessidade de destrinçar os grandes consumidores, especialmente aqueles que, pelas suas características de funcionamento, possam ter maior influência nos caudais nocturnos. O consumo nocturno de certas instalações industriais, por exemplo, pode ser frequentemente responsável por uma grande parcela do caudal total consumido numa ZMC.

Assim, é importante que seja levado a cabo um levantamento rigoroso de todos os grandes consumidores presentes na ZMC, actualizando a informação existente sobre os respectivos hábitos de consumo. Isso poderá ser feito com a colaboração do pessoal de campo conhecedor da área, procurando satisfazer os seguintes pontos:

- Identificar os grandes consumidores que utilizam água durante a noite. Se não houver registos utilizáveis mas se tratar de um consumo realmente importante, não é de excluir a hipótese de efectuar uma campanha de medição contínua durante uma semana ou duas. Em alternativa, o consumidor em causa deverá ser contactado para se procurar estimar o padrão nocturno de utilização, tanto devida à actividade em si, como ao enchimento de tanques, etc.
- Listar separadamente os consumidores que não têm um padrão de consumo nocturno, antes utilizam grandes volumes intermitentemente. A necessidade de um contacto directo é aqui importante, para uma caracterização cuidada.
- É importante que todos os grandes consumidores sejam bem caracterizados inicialmente e, se possível, os respectivos consumos medidos. Isto porque grandes consumos nocturnos podem também ser causados por perdas do lado do consumidor, não detectadas por este.

Em relação à generalidade dos consumidores, os dados a obter são os resultados da chamada micromedição para efeitos de facturação. A discretização máxima que é viável utilizar é o semestre ou o ano, para o que se dispõe de caudais médios para cada consumidor. Pode adoptar-se o procedimento seguido por Alegre *et al.* (1992).

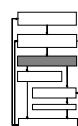
**É fundamental registar as ocorrências de roturas**

Os **registos de ocorrência de roturas**, que devem ser mantidos com rigor, acessíveis e devidamente actualizados, são necessários tanto para o planeamento das actividades de localização de fugas, como para direccionar as equipas de intervenção, como ainda para permitir a constituição de um histórico para efeitos de análise.

Um elemento de grande utilidade, que deve ser utilizado em conjunto com os registos em suporte de papel ou informático, são plantas de localização. Estas podem ser actualizadas pela equipa

de intervenção sempre que seja feita uma reparação. Este instrumento permite ir registando e verificando a ocorrência espacial das roturas, identificando zonas em que elas eventualmente se concentrem, etc..

Esse tipo de informação é de grande utilidade tanto no planeamento das actividades de localização, como pode posteriormente ser utilizado como informação de base para estratégias de reabilitação de zonas de rede.

No seguimento da reparação de uma fuga, o responsável pela equipa de intervenção deve registar, com conhecimento de um inspector de fugas:

- Data da reparação;
- localização exacta da rotura;
- causa estimada da rotura;
- reparação efectuada, com referência aos materiais utilizados, substituídos ou reparados;
- observações eventuais sobre o estado da tubagem.

*Procura do nível-base de perdas*

Como referido em 6.3, o nível-base de perdas e o nível económico de perdas constituem um nível de referência em cada ZMC, cujo conhecimento ou estimativa permite orientar a estratégia de controlo de perdas por medição zonada. O nível-base é uma quantidade definida de modo fundamentalmente empírico, e poderá ser diferente de ZMC para ZMC, ou mesmo dentro de uma ZMC que esteja dividida em subzonas.

Um aspecto importante é a possibilidade de faseamento da determinação do nível-base. Particularmente em situações de perdas muito elevadas, poderá considerar-se a utilização de técnicas de detecção e localização menos intensivas, que permitirão iterativamente ir reduzindo o nível de perdas e aproximando-o de um nível-base efectivo. Isto acontecerá já com a ZMC a funcionar em fase de monitorização de rotina, mas trata-se de uma técnica de recurso que deve ser entendida apenas como uma solução provisória.

Resume-se, seguidamente, a metodologia a seguir para determinação do nível-base, numa determinada zona ou subzona (Figura 30):

i. O primeiro passo é a verificação do estado de fecho das válvulas que definem as fronteiras da ZMC, assegurando-se que estão realmente a vedar bem. Este passo é extremamente importante, pois trata-se do aspecto mais susceptível de falha num esquema de medição zonada, como já foi referido. Basta uma simples válvula não estar fechada como deveria, seja por engano, esquecimento ou deficiente verificação, seja por acção de outras equipas de trabalho que não estejam ao corrente da operação, para invalidar os cálculos de balanço de caudais e consequentemente toda a análise dos resultados da monitorização. Este problema é normalmente tanto mais provável quanto mais longo o intervalo de tempo entre a instalação do esquema e o início da monitorização.

   Para obviar a este problema, a experiência britânica regista uma diversidade de soluções. A mais comum, já referida anteriormente, é a codificação das válvulas no terreno, utilizando tampas de plástico coloridas, colocadas sobre a torneira, como indicação da configuração desejável (por exemplo, uma válvula "verde" deverá manter-se aberta, "vermelha" deverá estar fechada). Uma evolução deste método é a utilização de anilhas de borracha, de várias cores, que vão sendo enfiadas no veio do manípulo ou no bucim da válvula. Esta anilhas são colocadas sequencialmente e de modo permanente, fornecendo, além da codificação referida, uma ideia do histórico de manobras. Soluções mais recentes incluem o selar da válvula com espuma sintética para garantir o fecho, sendo no entanto a espuma suficientemente frágil para permitir a manobra da válvula em caso de emergência.

ii. Com a ZMC a funcionar tal como projectado, deve efectuar-se a detecção e localização do maior número possível de fugas, reparando as roturas ou avarias responsáveis. Deve utilizar-se um escalonamento em duas fases, procurando e reparando em primeiro lugar as grandes fugas e só depois procedendo a uma busca sistemática das restantes.

iii. Os caudais nocturnos vão sendo observados e o caudal de perdas calculado. Após o passo (ii) ter identificado e reparado as fugas detectáveis de forma rentável, considera-se atingido o nível-base. O exercício deve efectuar-se num intervalo de tempo relativamente curto, e deverá ser concluído com nova verificação das válvulas de delimitação, especialmente em

casos em que níveis elevados de perdas não possam ser explicados por um mau estado das tubagens.

Durante o funcionamento rotineiro da medição zonada há normalmente oportunidade para o refinamento dos valores do nível-base.

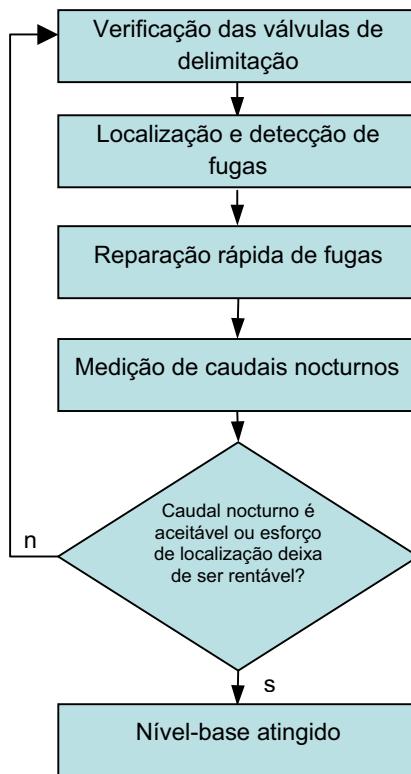
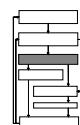



Figura 30 – Procura do nível-base de perdas

A abordagem exposta anteriormente é a que surge na bibliografia como sendo a mais adequada e é considerada satisfatória pelas entidades gestoras que a usam. Porém, considera-se desejável melhorá-la tirando partido da mais valia já disponível em termos de capacidade de tratamento dos registos contínuos de consumo. Assim, e tendo também em conta que a capacidade actual de registo dos equipamentos de registo deixou de constituir uma

limitação de facto, afigura-se vantajoso utilizar os registos de caudais ao longo de todo o dia para vir a definir um nível-base que entre em conta também com o caudal médio diário da ZMC.

O procedimento de campo a adoptar será neste caso muito semelhante ao exposto para a abordagem clássica. A única diferença reside no registo dos caudais ao longo de todo o dia e não exclusivamente dos caudais nocturnos.

O tratamento estatístico dos registos permitirá obter perfis de consumos padronizados, úteis para o estabelecimento do nível-base de perdas e para eventual utilização como dados dos modelos matemáticos.

No que diz respeito ao nível económico de perdas, deverá ser adoptada a metodologia apresentada em 6.4.

*Organização dos recursos humanos*

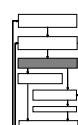
Um dos aspectos mais importantes do esforço de combate às perdas é a organização cuidada de uma estrutura de pessoal apropriada. A equipa de controlo de perdas deverá ser formada em função do tipo e volume de trabalho estimados. A estrutura poderá ser centralizada ou, para entidades gestoras de maior dimensão, as equipas de controlo de perdas formarão várias unidades espalhadas pelos diversos centros de distribuição, com as tarefas de tomada de decisão a cargo do gestor de perdas. Este poderá acumular funções com outras responsabilidades, e poderá ser auxiliado na interpretação dos resultados por um técnico especializado ou pelo engenheiro responsável pelo sector.

Em qualquer dos casos, haverá sempre uma grande dependência da estrutura existente para suporte da informação coligida e dos instrumentos de análise. Dado o volume de dados apreciável que é produzido por um sistema de medição zonada em pleno funcionamento, é quase imprescindível a existência de um eficaz sistema de informação que permita não só a organização e fácil recuperação dos dados acumulados, como a sua disponibilização para os instrumentos de análise utilizados.

É importante que as equipas assim formadas desempenhem parte activa na implementação do esquema desde o seu início, para garantir que os seus elementos se familiarizem com os princípios da medição zonada e todos os passos da operação.

A dimensão da equipa de controlo de perdas dependerá do número de medidores instalados nas ZMC, do número e dimensão das ZMC, da frequência de inspecção e do método de inspecção e gestão das ZMC.

As funções a desempenhar pelos membros da equipa de controlo de perdas dividem-se em 4 categorias:

**Como dimensionar a equipa?**

- Recolha de informação;
- interpretação/gestão de informação;
- localização/detecção de fugas;
- reparação de fugas.

O quadro que se segue sistematiza a atribuição de tarefas entre os membros da equipa e as eventuais ligações a outras divisões da entidade gestora.

Quadro 45 – Atribuição de tarefas na equipa de controlo de perdas

| Tarefa | Executada por | | Observações |
|---|---|---|---|
| | Equipa de controlo de perdas | Outro pessoal | |
| **Recolha de informação**<br>Leitura de medidores/ *dataloggers*<br>Leitura de consumidores<br>Estimativas de consumos<br>Instalação/ programação de *dataloggers* | Inspector<br><br>Inspector-Chefe<br>Técnico Auxiliar / Inspector-Chefe | Inspector | Informação passada ao Técnico Auxiliar ou Insp.Chefe via Sistema de Informação |
| **Interpretação/ gestão de informação**<br>Análise de dados<br>Interpretação de dados<br>Tomada de decisão | Gestor de perdas / Técnico Auxiliar<br>Gestor de perdas / Técnico Auxiliar<br>Gestor de perdas / Técnico Auxiliar | | Acção baseada em procedimentos pré-definidos |
| **Localização/detecção** | Inspector / Inspector-Chefe | | Metodologia utilizada determina atribuição de pessoal |
| **Reparação**<br>Supervisão da reparação de fugas<br>Verificação da reparação de fugas | Inspector-Chefe<br><br>Inspector | Equipa de reparação<br>Equipa de reparação | Ligação entre Inspector-Chefe e supervisor das equipas de reparação |

Pode verificar-se sobreposição das funções desempenhadas pelo Gestor de Perdas e o Técnico Auxiliar, ou deste e do Inspector-Chefe, dependendo do tipo de tecnologia ou metodologia utilizada e das habilitações individuais.

É muito importante que cada elemento das equipas esteja ciente do seu papel e das responsabilidades que lhe competem.

É muito importante que a introdução de novas actividades seja precedida de acções de formação e sensibilização de carácter teórico-prático, onde deverá ser valorizado o papel de cada elemento da equipa e deverá ser explicado, ao nível adequado, o contexto geral. Mesmo que a rotina de funcionamento de uma dada equipa não sofra alterações radicais face à actividade que exercia anteriormente, é muito importante rever os procedimentos, motivá-la, explicar-lhe os objectivos a atingir e realçar as ligações entre a actividade que exercem e as outras actividades envolvidas.

Outro aspecto intimamente relacionado com a gestão de recursos humanos tem a ver com a *normalização de procedimentos*. No âmbito das acções de formação deverão ser minuciosamente definidos todos os procedimentos a efectuar, devendo ser elaboradas, com a colaboração dos interessados, "*check lists*" para todas as operações a efectuar. Uma forma eficiente de motivar e responsabilizar o pessoal consiste exactamente em solicitar a sua colaboração na elaboração de pequenos manuais de procedimentos onde a sua experiência e conhecimentos sejam integrados. Há uma tendência natural nas empresas para dispensar este tipo de instrumentos de apoio pelo facto da maior parte do pessoal ser experiente, argumentando que a elaboração de manuais e "*check-lists"* constitui actividade secundária, não prioritária. Contudo, na prática, ocorrem esquecimentos ou falhas de comunicação entre equipas que, por vezes, fazem perder todo o trabalho até aí realizado.

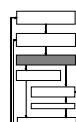
Está demonstrado pela prática que a quase totalidade dos insucessos ocorridos em campanhas de detecção e localização de fugas se deve a erro humano, por incúria, falta de preparação ou não adopção de procedimentos normalizados.

### *Operação de rotina*

A operação de rotina inclui tarefas de exploração e manutenção das ZMC, destacando-se a monitorização de rotina, a organização

de recursos, a interpretação dos resultados e a manutenção propriamente dita.

2ª fase da gestão de ZMC: operação de rotina

*Monitorização de rotina*

Uma vez obtidos os níveis-base e os níveis económicos de perdas, a monitorização de rotina levada a cabo nas ZMC permite que quaisquer alterações ao regime de caudais nocturnos sejam detectadas e observadas, fornecendo a informação necessária para a identificação da ocorrência de níveis de perdas inaceitáveis. Esta análise pode ser complementada pela observação de eventuais alterações que ocorram em todo o padrão de consumo da ZMC.

A monitorização de rotina num sistema de medição zonada pode efectuar-se por leitura directa (manual), ou de modo automático, seja por armazenamento local dos dados em *datalogger,* seja por transmissão a uma central via um sistema de telemetria. À sofisticação crescente corresponde também uma eficácia acrescida, devendo notar-se que hoje em dia são de facto as duas últimas soluções as mais utilizadas, delas dependendo em boa parte a eficiência da metodologia de medição zonada.

- *Leitura manual do medidor*

  A leitura manual directa de medidores por inspectores foi a técnica vigente em procedimentos deste tipo antes do advento dos meios electrónicos de registo. A técnica pode ser relativamente aligeirada se o mostrador do contador de impulsos estiver acessível numa câmara separada do medidor, evitando o esforço adicional de abertura da câmara do medidor.

  Para além dos medidores que permitem apenas a leitura simples e directa do contador de impulsos ou do totalizador, existem aparelhos que permitem registar o volume escoado durante um determinado intervalo de tempo (por exemplo, um período de caudal nocturno na noite anterior), evitando assim a necessidade de leitura nocturna. Trata-se em qualquer dos casos de um tipo de leitura pouco eficaz, pela intensa utilização de recursos humanos que acarreta, e que não pode actualmente ser considerada por si só uma verdadeira alternativa aos meios automáticos, cada vez mais acessíveis e eficientes. A leitura directa tem no entanto um papel

importante quando complementada pela utilização de *dataloggers.*

- *Utilização de dataloggers*

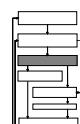
A utilização de *dataloggers* pode fazer-se de vários modos no sentido de se optimizar a quantidade e qualidade dos dados obtidos, tanto em leitura temporária (ocasional) como contínua.

A leitura temporária pratica-se quando o número de *dataloggers* disponíveis é insuficiente para uma cobertura total, o que se verifica com frequência. Pode ser feita com base numa rotatividade pré-estabelecida, ou utilizada em campanhas intensivas sempre que a leitura manual de um medidor indique uma alteração significativa no regime de caudais. O uso do *datalogger* durante uma campanha de vários dias permite obter informação adicional que ajude a distinguir um real aumento das perdas de uma variação localizada na procura.

Caso os recursos o permitam, a monitorização contínua com *dataloggers* fornece uma caracterização mais exaustiva dos comportamentos de caudais. Certos aparelhos permitem a *interrogação* local, ou seja a substituição de uma cassete ou a descarga dos dados para um equipamento de recolha quando se esgota o período de autonomia (da memória ou das baterias), enquanto outros necessitam de ser recolhidos para *interrogação* nas instalações centrais.

Este último caso conduz a períodos de hiato a não ser que se disponha de aparelhos de reserva para substituição. A monitorização contínua com *dataloggers* fornece idealmente o registo contínuo dos caudais, com as vantagens que daí advêm, mas não permite como a telemetria uma reacção rápida aos eventos uma vez que há sempre diferimento temporal no processamento da informação. Deste ponto de vista, o método anteriormente referido de leitura directa complementada por campanhas intensivas de monitorização automática permite melhores resultados, com um investimento nitidamente menor.

Não só os *dataloggers* actualmente disponíveis têm cada vez maior capacidade e sofisticação, mas também o equipamento complementar de monitorização e recolha de dados tem sofrido grande evolução, permitindo a disponibilização de uma

variedade de produtos para extracção e análise de dados mesmo no terreno. Estes produtos dividem-se em duas categorias:

- Aqueles que permitem uma ligação directa ao *datalogger* (e por vezes mesmo ao medidor), ou fazem parte do próprio *datalogger*, fornecendo imediatamente uma série de valores e estatísticas predefinidas;
- os computadores portáteis ou palmtops, com ligações dedicadas aos *dataloggers*, permitindo toda a gama de análise de dados e programação disponível.

Em ambos os casos existe a possibilidade de programação automatizada do *datalogger,* em que o papel do inspector é reduzido quase unicamente ao ligar e desligar das duas máquinas e eventual mudança ou recarregamento das baterias.

- *Telemetria*

A telemetria é o sistema mais sofisticado para recolha de dados de uma rede de medidores e transmissão a uma estação central. É uma tecnologia ainda dispendiosa, e habitualmente reservada apenas aos elos mais importantes de um sistema de abastecimento de água, sobretudo em adução, como as medições em estações elevatórias, reservatórios importantes ou grandes entradas e saídas de água no sistema. Dados os custos de equipamento e de operação envolvidos, muito poucas entidades gestoras, mesmo a nível mundial, utilizam esta tecnologia para efeitos de medição zonada, limitando-se normalmente a equipar os medidores mais importantes. Há exemplos no Reino Unido (Hegarty, 1994) de esquemas de medição zonada com cobertura completa do território por telemetria, proporcionando uma eficiência muito alta, tanto no controlo de perdas — a capacidade de detecção de roturas é altamente melhorada, podendo actuar-se mais cedo — como no âmbito mais dilatado do controlo da rede, com a possibilidade de armazenar e gerir de modo automatizado uma grande quantidade de informação sobre o comportamento dos caudais.

Soluções emergentes que começam actualmente a configurar alternativas financeiramente mais acessíveis, para o caso da

medição zonada, são as soluções de telemetria sem fios, via rádio ou GSM.

Na comparação de metodologias os argumentos técnicos a favor de uma solução de telemetria são naturalmente bastante fortes. Como se referiu anteriormente, toda a gestão do sistema de abastecimento e distribuição de água tem a ganhar com tal tecnologia, com benefícios tais como:

- A facilidade de accionar mecanismos de alarme e de informação imediata, com a inerente rapidez de resposta e maior poupança de água;
- o processo de recolha é automatizado, necessitando de pouca manutenção e poucos gastos com pessoal de campo;
- a informação é manuseada e processada com mais facilidade, permitindo a redução de gastos de pessoal técnico;
- a qualidade e quantidade da informação recolhida é elevada, permitindo tomadas de decisão mais fundamentadas e um melhor controlo, especialmente no combate às perdas.

As potenciais economias serão todavia, na maior parte dos casos de medição zonada, insuficientes para contrabalançar o alto custo de instalação e operação de equipamento desse tipo[5]. Entre os custos de operação contam-se não só os gastos de energia e uma manutenção mais especializada, mas principalmente o custo das comunicações telefónicas ou por rádio, quando não existir uma instalação de cabos ou fibra óptica exclusiva para o efeito.

É opinião generalizada entre os utilizadores da medição zonada que a utilização correcta de *dataloggers,* especialmente em combinação com leituras directas, pode fornecer uma eficiência muito aproximada da telemetria para efeitos de recolha da informação relevante. Em sistemas de leitura directa ou mistos em que o inspector possa rapidamente examinar os registos nocturnos dos últimos *n* dias, por exemplo, o custo das visitas frequentes é provavelmente menor que o investimento e custo

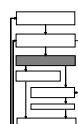
---

5 Saliente-se que estas observações se referem exclusivamente à utilização da telemetria em sistemas de medição zonada, e não em sistemas de adução, ou na rede principal dos sistemas de distribuição, onde é actualmente uma ferramenta quase indispensável para a correcta gestão técnica.

operacional de uma ligação telemétrica para os mesmos efeitos. A única desvantagem mais evidente deste ponto de vista será a maior lentidão na reacção a roturas, um máximo de *n* dias contra a potencial prontidão da telemetria.

### *Organização de recursos*

A organização de recursos humanos para as tarefas ligadas ao controlo de perdas já foi discutida em secções anteriores. A carga adicional introduzida pelas tarefas de monitorização revela-se em duas vertentes, correspondentes ao trabalho de rotina, como a leitura dos medidores, e o trabalho de índole excepcional ou ocasional, como as campanhas temporárias com *dataloggers.*

Por outro lado, será necessário disponibilizar um certo número de recursos em equipamento (que não o instalado em permanência), nomeadamente *dataloggers* e equipamento dedicado de leitura.

- *Leitura de medidores*

  Como já se referiu, há vantagens em os medidores de caudal terem mostradores de leitura externos, contidos numa câmara separada, de fácil acesso, que não implique a remoção de pesadas tampas ou outras acções morosas. Isso permite reduzir as necessidades de mão-de-obra a um inspector por medidor. Deve, no entanto, comparar-se a economia assim realizada com o custo da instalação do mostrador externo.

- *Utilização de dataloggers*

  O principal aspecto a ter em conta na gestão dos recursos do equipamento não fixo, que fundamentalmente se reduz aos *dataloggers* e respectivo material auxiliar, é a de disponibilizar um número suficiente de equipamentos. Em casos em que não se preveja uma utilização a 100%, o equipamento será mais bem rentabilizado através de um planeamento cuidadoso que permita a partilha com outras tarefas dentro da entidade gestora, como sejam o apoio à calibração de modelos matemáticos, campanhas de medição de pressão, calibração de medidores e campanhas de localização e detecção de fugas por fecho progressivo.

  Há ainda a ter em conta que, para efeitos da medição zonada, será conveniente manter alguns aparelhos em reserva, para substituição imediata de avarias súbitas.

Em caso de utilização não contínua dos *dataloggers*, os factores que determinam o número de *dataloggers* necessários são:

- O número máximo de pontos de medição por ZMC, incluindo não só os medidores de entrada e saída, mas também os grandes consumidores que se julgue conveniente medir em detalhe;
- o número de ZMC a medir simultaneamente;
- a frequência das campanhas planeadas para medição de caudais nocturnos; e
- os operadores disponíveis e a dimensão da área em causa.

Em monitorização contínua, será necessário um *datalogger* por local de medição (ou por medidor, se os *dataloggers* forem de canal único) se aqueles puderem ser interrogados no local, ou o dobro desse número se tiverem de ser recolhidos para interrogação.

*Interpretação de resultados*

O objectivo da monitorização regular dos caudais afluentes e efluentes de uma ZMC é a recolha de informação que permita caracterizar os padrões de consumo e utilização de água nessa área, e possibilite o controlo de rentabilidade das perdas.

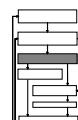
Nesta perspectiva, é importante antes de mais que os dados recolhidos sejam exactos e fiáveis, na medida do possível. Só mediante um conjunto sólido de dados será possível os procedimentos de análise disponíveis fornecerem valores significativos. Assim, a primeira etapa relativa ao processamento dos dados é a determinação dos seus níveis de fiabilidade e exactidão, que condicionarão a interpretação de toda a análise subsequente.

Os referidos procedimentos de análise destinam-se a determinar, para cada ZMC ou grupo de ZMC, o nível de perdas e um indicador de custo dessas mesmas perdas. A análise subsequente permite obter indicações sobre o modo mais eficaz de utilização da tecnologia disponível para detecção e localização de fugas, baseadas num conjunto de pressupostos definidos em função dos recursos disponíveis.

- *Exactidão e fiabilidade*

  A exactidão com que os volumes perdidos podem ser medidos ou estimados depende ou é limitada pela exactidão inerente aos dados utilizados. É assim importante fazer-se uma ideia do nível de erro introduzido pelos sucessivos passos até à utilização dos dados.

  No caso mais simples de uma ZMC com apenas um ponto de medição, a exactidão com que o caudal pode ser medido é limitada pelo erro introduzido pelo medidor único. No entanto, havendo mais do que um ponto de medição, será necessária uma análise de incerteza para se poder estimar a exactidão dos cálculos subsequentes. Deve salientar-se que a incerteza resultante da combinação de vários erros pode ser bastante superior à incerteza do medidor menos preciso. Recomenda-se a este respeito a consulta da secção 5.10.

  Deve ainda salientar-se que o processo de registo dos dados, por exemplo através de um *datalogger*, pode introduzir erros devidos a várias causas, como a resolução do registo em memória, a frequência de amostragem (para *dataloggers* que funcionem desse modo), etc.

  Para casos de medições que sofram apenas pequenas variações, como acontece frequentemente com os caudais nocturnos, um outro parâmetro assume bastante importância na fiabilidade dos registos: a repetibilidade, ou consistência das medições.

  Merece ainda referência a necessidade de sincronismo dos relógios dos diversos equipamentos. Deficiências de sincronismo podem provocar erros muito grosseiros na avaliação dos caudais mínimos nocturnos, em particular se os caudais efluentes das ZMC forem significativos.

- *Análise de dados*

  O principal objectivo da análise dos dados resultantes da medição zonada é permitir a tomada de decisões no sentido da minimização simultânea dos custos das perdas redutíveis (isto é, passíveis de redução), e do investimento a fazer na sua detecção.

  O custo das perdas redutíveis é estimado a partir do nível de perdas da ZMC, utilizando a média dos caudais nocturnos recentemente amostrados. Seja a monitorização contínua, ou

resultante de campanhas temporárias, parece evidente que há todas as vantagens em utilizar na estimativa de caudais de fuga o maior número de dias do registo recente que sejam significativos.

A prática britânica indica um mínimo de 7 dias como representativo do nível de perdas corrente. Por outro lado, estudos efectuados pelo LNEC nas redes de Lisboa (ver Alegre *et al*., 1992) e na região de Almada (Alegre, 1994) revelaram uma certa variabilidade dos dados, que diminui o grau de confiança na validade de amostras curtas. Estas são, por outro lado, mais vulneráveis a caudais ocasionais, por exemplo gerados intermitentemente por grandes consumidores.

No entanto, deve manter-se presente que o objectivo da análise que se descreve é a da monitorização de níveis de perdas correntes, pelo que a utilização de um histórico longo pode mascarar os resultados. Por outro lado, a introdução de um esquema de medição zonada permite ir progressivamente aumentando o grau de controlo sobre o comportamento de cada zona, e também o conhecimento sobre os seus padrões de consumo. Isto permitirá ir aumentando a confiança atribuída à utilização de médias flutuantes com base em 7 dias. Não obstante, quanto mais longos os registos disponíveis, mais informação se possui para fundamentar a caracterização, e de melhores argumentos se disporá para comparar a média flutuante obtida em qualquer momento com a média mais geral.

- *Cálculo dos caudais de perdas reais*

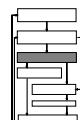
  O cálculo do caudal de perdas reais pode ser realizado de duas formas distintas e complementares. Uma é pela via da realização do balanço hídrico (perdas reais = perdas totais-perdas aparentes), objecto do Capítulo 5. Outro é por via da decomposição dos caudais mínimas nocturnos em consumos reais e perdas reais. Esta decomposição deve ser baseada na caracterização dos consumidores de cada ZMC, bem como na análise dos caudais mínimos absolutos em campanhas exploratórias de curta duração, com registos feitos minuto a minuto.

*Manutenção de um sistema de medição zonada*

A utilização de ZMC implica um considerável investimento em instalações e equipamentos. Para além da sua rentabilização através da operação do sistema de medição zonada, é importante proteger o investimento e garantir a sua contínua eficácia e rentabilidade através de um programa adequado de acções de manutenção. As duas principais preocupações serão o garantir que os critérios iniciais de concepção são mantidos ou quaisquer mudanças devidamente documentadas e tomadas em consideração, e a manutenção do equipamento e instalação geral.

O primeiro aspecto reflecte os cuidados a haver com a inevitável evolução dos consumos e condições de distribuição, podendo ser necessários ajustes de grau variável às próprias ZMC consoante as alterações se devam a modificação de limites de zona, novas ligações ou mudanças nos cenários de operação.

Mais à frente nesta secção aborda-se a problemática da manutenção das ZMC.

Por sua vez, a eficiente operação de um sistema de controlo de perdas reais claramente depende de uma recolha regular e eficiente dos dados relevantes, o que só pode ser levado a cabo se: os medidores forem regularmente verificados e mantidos; se as acções de reparação ou outras que impliquem interrupção se dêem no mais rápido intervalo de tempo possível; e se todo o equipamento de registo e associado for igualmente mantido em condições operacionais eficazes.

Mais adiante nesta secção descrevem-se os principais cuidados a haver na manutenção do equipamento e instalações.

- *Manutenção das ZMC*

  **Modificações aos limites de zona** ocorrem principalmente como consequência da redistribuição de limites de andares de pressão, ou por reconfigurações e expansões das redes. Será nestes casos necessário rever os procedimentos descritos em 7.2.2 para concepção das ZMC. Outros componentes da operação do esquema, como os registos e plantas ou os procedimentos de cálculo, terão de ser alterados em conformidade. Os principais cuidados a ter em atenção serão os seguintes:

  **As modificações aos limites de zona devem ser feitas de forma cuidada**

  – Actualizar plantas, marcando as novas delimitações, posições de medidores e estado das válvulas;

- actualizar os registos de válvulas, notando as novas válvulas de fronteira e aquelas que porventura mudaram de estado;
- actualizar os registos dos medidores;
- verificar os medidores existentes em relação às novas condições de escoamento — se necessário substituir medidores;
- rever os ficheiros de atribuição dos consumidores por ZMC, prestando especial atenção aos grandes consumidores;
- rever ou actualizar o procedimento de cálculo dos caudais perdidos, para tomar em linha de conta as novas entradas e/ou saídas;
- e, finalmente, reavaliar os valores dos custos das perdas.

É necessário analisar o impacto de novas ligações

A introdução de **novas ligações** de abastecimento, para além de estar ligada ao aumento do número de consumidores, poderá implicar novos cruzamentos da linha de fronteira de uma ZMC. A primeira situação implica apenas o actualizar dos ficheiros de atribuição de consumidores. No caso de novos cruzamentos, cai-se na situação descrita no ponto anterior, pois ou se introduzem novas válvulas e/ou medidores, ou são alteradas as fronteiras das ZMC.

O efeito de mudanças no regime de operação deve ser analisado previamente

**Mudanças no regime de operação** podem implicar alterações ao regime de caudais de uma ZMC ou entre várias ZMC podendo ter um efeito significativo na interpretação dos dados da medição zonada. Tais alterações poderão ser permanentes, ou dever-se apenas a alterações temporárias do regime de operação.

As mudanças permanentes podem consistir em:

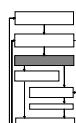
- Aumento ou diminuição da pressão de serviço — o efeito das variações de pressão no consumo e perdas é conhecido; qualquer mudança no regime de pressões deverá portanto ser seguida de monitorização de caudais nocturnos, e novo cálculo do nível-base;
- alterações ao regime de bombeamento — Podem introduzir alterações nos valores dos caudais e sentidos do escoamento (para além de alterações nas pressões, como em (i)). Podem implicar a introdução de novos medidores ou substituição de existentes, e nesse caso as

operações descritas na secção “Modificações aos limites de zona” serão necessárias;

- novo zonamento operacional, com as características e consequências em tudo semelhantes ao descrito na secção “Modificações aos limites de zona”.

Tal como com as mudanças permanentes, a operação normal do sistema pode introduzir alterações temporárias na pressão, caudal e direcção de escoamento. Exemplos dessas acções são:

- Subdivisão da ZMC para localização de fugas;
- manobras de válvulas para operações de limpeza, reparação, reabilitação ou ampliação;
- mudanças temporárias ou sazonais no consumo.

É fundamental que tais alterações sejam registadas e tomem em atenção o sistema de medição zonada.

- *Manutenção da instalação e do equipamento de medição*

A **manutenção dos medidores de caudal** é fundamental para garantir a fiabilidade da medição. Os tipos de medidores que são adequados para utilização em medição zonada foram já discutidos, sendo o Anexo 1 dedicado à descrição e discussão das suas características. Os medidores listados têm demonstrado na sua maioria não necessitar de cuidados especiais para além das recomendações dos fabricantes, para além de problemas de condensação no equipamento de leitura e registo.

**A medição fiável requer adequada manutenção dos medidores e calibração regular**

Os medidores do tipo intrusivo, com partes móveis, são aqueles com necessidade especial de limpeza e desobstrução regular, em função do tipo de água e velocidade de escoamento verificados. Esse tipo de problemas assim como outras características de manutenção e fiabilidade são discutidos no Anexo A.

A **calibração e verificação dos medidores de caudal** de forma regular é fundamental. De facto, a influência que pode ter, na interpretação dos resultados da medição zonada, o erro introduzido pelos medidores é suficientemente significativa para ser imperativo manter os medidores a funcionar dentro dos limites de exactidão indicados pelo fabricante, ou revelados por ensaios posteriores.

Quando uma ZMC é instalada, os medidores utilizados — sejam novos, renovados, ou apenas verificados — terão de estar convenientemente calibrados e aprovados. Será normalmente nesta fase inicial que o sistema estará a funcionar no máximo da sua exactidão. Para essa exactidão não se degradar, será necessário um programa adequado de verificações, em que o principal critério de frequência e escalonamento tem a ver com a importância relativa dos dados gerados por cada medidor.

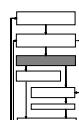
O tipo de operação de calibração depende da localização e das dimensões do medidor. Medidores instalados à saída de reservatórios ou de estações elevatórias, ou coincidindo com outras instalações importantes, podem habitualmente ser revistos no local. O mesmo poderá não acontecer com alguns medidores de fronteira de ZMC, em que a falta de espaço para se proceder à afinação implica a substituição ou recurso temporário ao *by-pass*, sem medição.

A calibração *in situ* dos medidores, onde haja disponibilidade para tal, pode ser efectuada por um dos seguintes métodos:

- Método volumétrico, caso o medidor seja contíguo a um reservatório (ou não haja saídas ou entradas de água entre o medidor e o reservatório mais próximo), utilizando a medição de níveis;
- método de medição de velocidades, através da inserção de um medidor de turbina;
- comparação com um medidor de referência calibrado, seja do tipo não-intrusivo, seja instalado no by-pass.
- Uma frequência de calibração variando entre os seis meses e um ano é habitualmente o desejável, em função da rendibilidade e eficácia da operação.

Uma solução que pode ser utilizada com eficácia em medidores de ZMC fora de grandes instalações é a unidade portátil de calibração, que inclui um ou mais medidores perfeitamente calibrados e juntos cobrindo uma gama alargada de caudais. Há duas modalidades, uma utilizando medidores que adaptam externamente às condutas, do tipo ultrassónico, e a outra, que apresenta maior rendibilidade, transportando os medidores (que podem ser de qualquer tipo) em conjunto com mangueiras que são ligadas a uma saída de caudal, suficientemente perto do medidor para não haver

perda ou ganho de caudal no intervalo entre ambos – tipicamente um marco de incêndio, havendo a necessidade sempre de se fechar o caudal a jusante. O equipamento é instalado num veículo do tipo comercial ligeiro ou um atrelado.

Este método é potencialmente o que garante os melhores resultados, visto as unidades portáteis possuírem normalmente grande exactidão, garantida pelo fabricante ou organismo certificador. No entanto, para ser praticável necessita de uma colocação oportuna dos medidores junto a marcos ou bocas de incêndio e válvulas (sem consumidores no troço assim compreendido), o que dificilmente acontecerá por acaso. Na maior parte das situações esse requisito adicional terá de ser incorporado no projecto da ZMC, assim aumentando o seu custo.

Um método alternativo e eficaz de calibração *in situ* quando a medição é efectuada por equipamentos mecânicos deste tipo é a substituição da unidade de medição (haste e turbina) por uma que tenha sido previamente calibrada em oficina. Trata-se de uma operação rápida, cerca de meia hora na maior parte dos casos. No caso de medidores mecânicos tipo Woltman é necessário isolar o medidor para a operação. No caso de electromecânicos tal não é necessário. Desde que a calibração da peça de substituição seja precisa, e que o reposicionamento seja feito com cuidado, considera-se que este método fornece resultados geralmente satisfatórios.

- *Manutenção do restante equipamento*

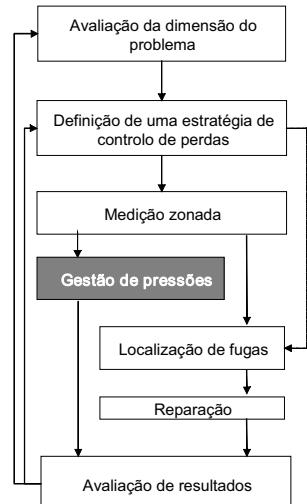
  A maior parte do equipamento moderno de recolha e armazenamento de dados em sistemas de distribuição de água é convenientemente preparado para suportar as condições de temperatura, humidade ou mesmo imersão que enfrentará no terreno. A manutenção deverá todavia seguir cuidadosamente as recomendações do fabricante, especialmente no que diz respeito à substituição de baterias.

  Os leitores de caudal e contadores de impulsos necessitam de muito pouca manutenção, para além da limpeza de alguma condensação.

  Os *dataloggers* necessitarão fundamentalmente da troca de baterias e limpeza ocasional, sendo normalmente aparelhos bastante robustos. Como é óbvio, precisam também que a informação que contêm seja periodicamente transferida para

outro suporte, as memórias limpas e a programação verificada.

As estações de telemetria são mais sujeitas a degradação com as condições do terreno, e prevêem normalmente que se mantenha em bom estado as diversas ligações e cabos de corrente eléctrica e de comunicações. As unidades de aquisição de dados e de transmissão devem ser verificadas ocasionalmente bem como todo o circuito.

Nos três casos será fundamental assegurar também que todos os procedimentos referentes à operação dos aparelhos são respeitados, incluindo a leitura, interrogação, reactivamento, programação e restantes acções.

## 7.3 Gestão de pressões

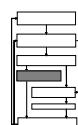
### 7.3.1 Nota introdutória

A pressão num sistema de distribuição é reconhecidamente um factor determinante para o caudal total de perdas, para os consumos e para a taxa de roturas em condutas. Apesar desta evidência, a gestão activa de pressões não é normalmente uma prioridade na gestão técnica de sistemas. No entanto, se implementada adequadamente e de forma faseada, é uma medida básica para redução de perdas, que pode ter grande eficácia com uma boa relação de custo-benefício.



**A gestão de pressões é uma medida básica para a redução de perdas reais de água**

Os procedimentos tradicionais de dimensionamento de redes de distribuição pressupõem a garantia de um nível de pressão mínima, para a situação mais desfavorável de consumos e nos pontos mais críticos do sistema. Assim, o estabelecimento dos níveis de pressão baseia-se em cenários de ponta no consumo resultando, naturalmente, em pressões superiores ao necessário durante extensos períodos de tempo, em que o consumo é inferior, se não for adoptado um procedimento de gestão activa de pressões. Durante o período nocturno, de baixo consumo, as pressões na rede tendem a aumentar sendo possível e

conveniente reduzi-las ainda mais do que durante o período diurno, visto o consumo ser muito reduzido. Evidentemente que nem todos os sistemas apresentam margem para redução de pressões e que, em certos casos, os níveis de pressão actuais são insuficientes.

A gestão de pressões apresenta um grande potencial para a redução de perdas de água, incluindo a redução do número de roturas, e permite uma melhor gestão dos consumos. De facto, a gestão de pressões é uma das medidas preconizadas no Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (INAG, 2001) com maior prioridade de aplicação.

Nesta secção são abordados aspectos que incluem a influência da pressão nas perdas reais, os benefícios e problemas potenciais associados à gestão de pressões, alternativas para controlo de pressões e aspectos a considerar na concepção, implementação, operação e manutenção de um programa de gestão de pressões.

### 7.3.2 Influência da pressão nas perdas reais

A compreensão da relação entre pressão e caudal de perdas é fundamental para a aplicação sistemática da gestão de pressões. De facto, a indicação do nível de perdas reais sem ter associada a correspondente pressão média resulta de ignorar a importância desta relação. Apesar de ser uma medição fácil de obter, se não existirem estatísticas disponíveis de medições de pressão nos pontos relevantes, como será o caso em muitas das situações, não é possível estimar os efeitos da gestão de pressões sobre as perdas reais (Lambert, 2001). Na Figura 31 apresenta-se um exemplo de resultados da aplicação da gestão da pressão apresentado por Yoshimoto *et al.* (1999), citando o "*Relatório de avaliação de performance de VRP instalada na Rua dos Pilões – Setor de abastecimento Sacomã (RMSP) – BBL/SABESP*".

**A expressão das perdas reais num sistema deve ser acompanhada pela indicação da pressão média correspondente**

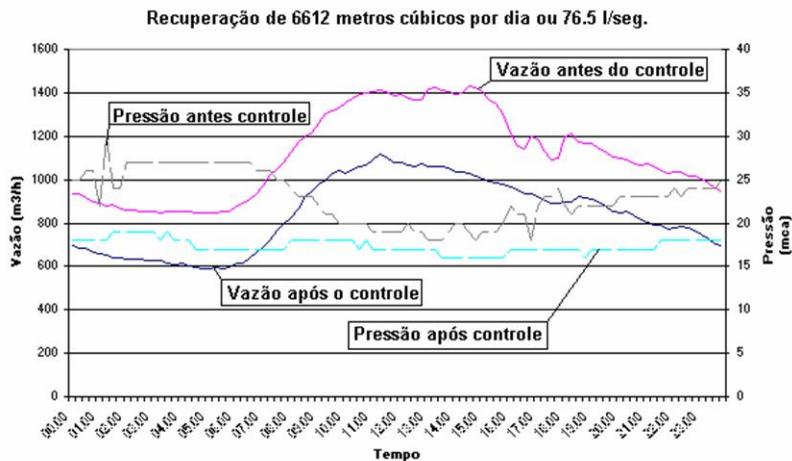



Figura 31 – Exemplo do efeito da redução da pressão no caudal (Yoshimoto *et al.*, 1999)

O efeito da redução da pressão sobre as perdas reais pode ser expressa por uma expressão geral (17), representada na Figura 32.

$$Q_{final} = Q_{inicial} \left( P_{final} / P_{inicial} \right)^{n} \quad \text{(Eq. 9)}$$

onde,

$Q_{final}$ – caudal de perdas após redução da pressão ($m^3/s$)

$Q_{inicial}$ – caudal de perdas antes da redução da pressão ($m^3/s$)

$P_{final}$ – pressão final após redução (m)

$P_{inicial}$ – pressão inicial anterior à redução (m)

n – expoente (-)

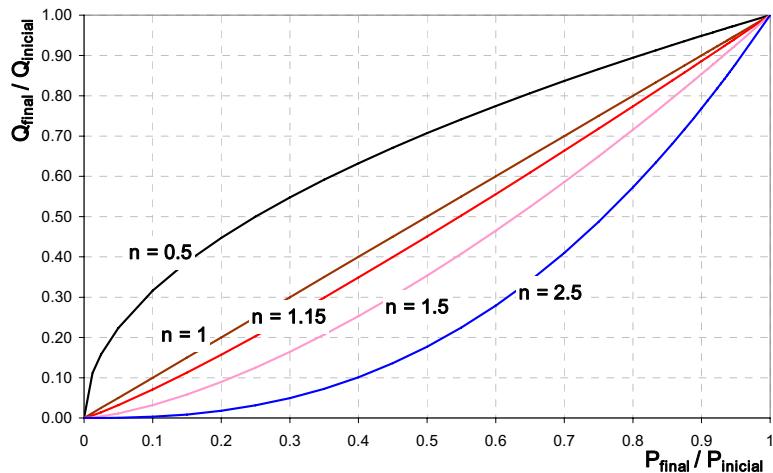
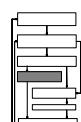



Figura 32 – Relação entre as variações de pressão e o caudal de perdas

O expoente, que pode ser determinado experimentalmente em laboratório ou em sectores de redes de distribuição, varia com factores como o material, tipo de fugas ocorrentes e o tipo de fuga predominante.

Considerando os dados disponíveis de estudos em vários países, Lambert (2001) recomenda os valores de **n** constantes do Quadro 46, numa gama de 0,5 a 2,5.

Quadro 46 – Valores recomendados para o expoente n

| Valor típico de n | Aplicação |
|---|---|
| n = 0,5 | Fugas significativas, detectáveis, em condutas de materiais metálicos (fugas em orifícios de área fixa). |
| n = 1,0 | Em caso de desconhecimento do material ou nível de perdas reais. |
| n = 1,5 | Pequenas fugas, indetectáveis, por exemplo em juntas e ligações (*background leakage*), são muito sensíveis à variação da pressão, independentemente do tipo de material. |
| n ≥ 1,5 | Fugas significativas, detectáveis, em condutas de materiais plásticos (fugas em orifícios de área variável). |

O valor n = 0,5 deduzido das expressões da velocidade de um jacto através de um orifício, usado tradicionalmente de forma genérica, tem sido corrigido em face dos resultados experimentais (Lambert, 2001; Thornton, 2002).

A expressão indicada pode também ser utilizada para analisar e prever o impacto da pressão em componentes individuais de consumo.

Em casos concretos, é possível determinar localmente o valor do expoente recorrendo a dois tipos de testes (Lambert, 2001; Thornton, 2002):

- **Testes em sectores de sistemas de distribuição, suspendendo o abastecimento aos consumidores servidos**. Em cada teste, as válvulas de seccionamento dos ramais de ligação são fechadas e os troços das condutas em análise são isolados, fechando as válvulas apropriadas. O caudal necessário para manter o caudal de fugas é registado para diferentes valores de pressão. A pressão deverá variar numa gama que cubra as possíveis ocorrências naquela zona da rede, quer com valores de pressão crescentes quer decrescentes.
- **Testes nocturnos em sectores de sistemas de distribuição, incluindo o consumo nocturno**. Em cada teste, que se deve realizar em sectores com apenas um ponto de abastecimento, é feito o registo do caudal nocturno e correspondente pressão média no sector num período (horas, dias ou semanas) durante o qual se reduz gradualmente a pressão. O caudal mínimo nocturno inclui o caudal de fugas na rede de distribuição e nos ramais de ligação e ainda o consumo nocturno. O caudal de perdas é obtido deduzindo ao caudal mínimo nocturno as estimativas de consumo nesse período.

Em geral, o valor final de **n** é a média do obtido em dois ou três repetições do teste.

Em zonas suficientemente pequenas poderá ser usado um método alternativo, com recurso a sistemas de medição com elevadas frequências de aquisição, tipicamente com intervalos inferiores a 5 minutos, onde através da análise dos registos em vários dias se tenta detectar o verdadeiro valor mínimo do caudal nocturno onde a componente de consumo será insignificante.

### 7.3.3 Benefícios e problemas potenciais

Os benefícios associados a uma correcta gestão de pressões são reconhecidos e comprovados em sistemas de diversos países como a Austrália, Africa do Sul, Brasil, Japão, Nova Zelândia ou Reino Unido. Os principais benefícios resultantes da gestão da pressão são:

- Redução do caudal de perdas;
- redução do consumo em dispositivos sujeitos à pressão do sistema público;
- estabilidade da pressão na rede de distribuição;
- protecção do estado estrutural da rede e redução do número de novas roturas; e
- garantia dos caudais de incêndio.

A gestão de pressões tem impacto na redução de perdas de água, de consumos de água e energia, e na frequência de roturas

Em síntese, obtém-se um efeito geral de redução do risco de aumento do número de roturas e do caudal de perdas, e aumento da fiabilidade do sistema bem como da qualidade do serviço prestado.

*Redução do caudal de perdas*

Em resultado da relação directa entre a pressão e o caudal de perdas, como apresentado em 7.3.2, é evidente o benefício que pode ser obtido através da gestão adequada da pressão. Diferentes tipos de fugas apresentam diferentes respostas à pressão mas a redução da pressão é particularmente importante para a diminuição das pequenas fugas, indetectáveis, por exemplo em juntas e ligações, (*background leakage*), já que estas não são passíveis de reparação de forma significativa.

*Redução do consumo em dispositivos sujeitos à pressão da rede*

A gestão de pressões pode ser uma medida eficaz para limitar os consumos, nas situações em que o ponto de consumo está directamente sujeito à pressão da rede. Como foi atrás referido, a gestão de pressões é uma das medidas preconizadas no Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (INAG, 2001) com maior prioridade de aplicação. Para garantir um uso eficiente da água é conveniente que as pressões não sejam excessivas, limitando-se desejavelmente aos valores que permitam uma utilização confortável. Esta medida consiste num controlo cuidado, pelas entidades gestoras de sistemas públicos de abastecimento de água, das pressões nos sistemas de distribuição, o que passa

por aspectos não só de concepção do sistema mas também de operação e manutenção corrente. Esse controlo deve permitir garantir em toda a rede, em permanência, pressões acima dos mínimos regulamentares mas evitar valores excessivos e desnecessários, que contribuem para um maior consumo quando da utilização de dispositivos como torneiras, chuveiros ou bocas de rega.

Nem todos os dispositivos estão sujeitos à pressão da rede, especialmente nas situações em que existam reservatórios locais. Em dispositivos como, por exemplo, o autoclismo, onde não há redução significativa do consumo por efeito da pressão, podem ocorrer fugas para pressões mais elevadas na válvula de flutuador. A gestão de pressões pode, nestes casos, contribuir para a redução das perdas aparentes.

A redução da pressão pode ainda ser usada em situações de escassez como medida de emergência, permitindo a redução dos consumos de forma eficaz, a níveis compatíveis com as reservas existentes. Naturalmente que, nesta situação, a qualidade do serviço não é mantida nos níveis desejáveis e há que evitar reduções excessivas em zonas da rede onde, em consequência, se possam registar problemas de contaminação.

*Melhoria da estabilidade da pressão na rede*

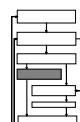
O padrão de consumos diário implica flutuações significativas da pressão, a menos que esteja implementado o controlo activo da pressão. A magnitude das flutuações está dependente de factores como as perdas de carga ao longo da rede e da própria configuração do sistema. Em zonas sujeitas a maiores flutuações, para além do potencial enfraquecimento das infra-estruturas, podem ocorrer pressões fora dos limites admissíveis. Pressões baixas podem resultar em caudais insuficientes ou no não funcionamento de certos equipamentos; pressões altas podem resultar em reverberação de condutas, funcionamento deficiente de aparelhos e dispositivos para aquecimento da água ou avarias em aparelhos por ser ultrapassada a sua pressão de serviço.

Assim, a estabilização das pressões conduz, necessariamente, a uma melhoria da qualidade do serviço prestado.

*Protecção do estado estrutural da rede e redução do número de novas roturas*

A ocorrência de pressões elevadas e de flutuações diárias significativas de pressão são reconhecidamente causas importantes de enfraquecimento das infra-estruturas e de aumento da taxa de roturas, portanto reduzindo a vida útil das redes. Naturalmente que factores como o material, a ocorrência de transitórios hidráulicos, a corrosão e danos acidentais, entre outros, são também determinantes.

Lambert (2001) e Farley e Trow (2003) apresentam dados de diferentes sistemas que são ilustrativos do impacto da pressão excessiva sobre a frequência de roturas:

- Austrália: a redução em 40% na pressão num sector de uma cidade resultou na redução da frequência de novas roturas em 55%.
- Auckland, Nova Zelândia: a redução na pressão média de 71 m para 54 m, num sistema de distribuição, resultou na redução da frequência de roturas para o valor mais baixo observado em 8 anos.
- São Paulo, Brasil: a aplicação da gestão da pressão em 8 sectores com 140 km de condutas resultou numa redução da frequência de roturas de 155 por mês para 95 por mês.

Em virtude das especificidades de cada sistema, o efeito da redução da pressão é também variável de caso para caso.

A redução do número de novas fugas é, frequentemente, o resultado mais evidente, em termos económicos, da gestão de pressões (Bragalli e Sacchi, 2002).

*Garantia dos caudais de incêndio*

Embora muitas vezes referida como uma limitação à gestão de pressões, pressupondo que esta implicaria apenas a redução da pressão num sistema, a garantia dos caudais de incêndio pode vir a ser melhorada com uma melhor gestão de pressões. De facto, muitos sistemas sem controlo activo de pressões não garantem os caudais necessários para o combate a incêndios, mesmo que se registe uma pressão suficiente, já que é necessário garantir que a conduta tem o diâmetro efectivo necessário.

O dimensionamento de um sistema de controlo de pressões deve ter em consideração a garantia dos caudais de incêndio, podendo

mesmo resultar numa melhoria do funcionamento do sistema, especialmente em locais em que o combate a incêndios seja dificilmente efectuado com autotanques.

*Problemas potenciais*

Os problemas potenciais que podem ocorrer, se os sistemas não forem devidamente dimensionados, instalados, operados e mantidos, incluem:

- Perda de facturação;
- enchimento deficiente dos reservatórios durante o período nocturno;
- funcionamento deficiente das válvulas redutoras de pressão;
- edifícios altos, instalações industriais e outras instalações especiais.

Estas situações devem de ser devidamente consideradas nas diversas fases de estabelecimento de um sistema com gestão da pressão.

*Perda de facturação*

Em geral, da experiência existente reportada, o balanço entre a redução do caudal de perdas e a redução no consumo apresenta-se como positivo, quer em sistemas com perdas reais elevadas, quer noutros com perdas reais mais reduzidas (Thornton, 2002).

Acresce ainda que, durante o período nocturno, quando ocorrem pressões mais elevadas e o potencial de redução das perdas é superior, o consumo é insignificante. Verifica-se ainda que alguns dos consumos mais significativos não estão dependentes da pressão, como sejam, os autoclismos e os sistemas de termoacumuladores. Finalmente, o período de influência da pressão sobre o consumo limita-se à duração da utilização enquanto que nas perdas reais a influência é contínua.

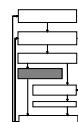
*Enchimento deficiente dos reservatórios em período nocturno*

A redução da pressão durante o período nocturno poderá causar alguns problemas em certos sistemas. Nestes casos, o zonamento deverá ser feito tendo em consideração a manutenção da pressão nas condutas principais que abastecem os reservatórios onde possam ocorrer limitações no enchimento por efeito da redução da pressão.

No entanto, em virtude de, em geral, serem usadas condutas de maiores diâmetros para o abastecimento de reservatórios, a gestão de pressões não causa problemas significativos no enchimento de reservatórios.

*Funcionamento deficiente das válvulas redutoras de pressão*

A implementação de um sistema de gestão activa de pressões implica que sejam cumpridos os requisitos de operação e de manutenção. Se estas tarefas forem deficientes podem ser colocados em risco os benefícios pretendidos e até criar situações de funcionamento deficiente. Por exemplo, as válvulas redutoras de pressão, se não forem correctamente seleccionadas, instaladas e mantidas, podem não operar correctamente. Em casos extremos, o mau funcionamento das válvulas pode resultar em instabilidades resultando em roturas ou abastecimento insuficiente aos consumidores (Farley e Trow, 2003).

*Edifícios altos, instalações industriais e instalações especiais*

A garantia de caudais e pressões suficientes em edifícios de maior altura ou instalações industriais pode ser uma condicionante à aplicação da redução de pressão dependendo da configuração do abastecimento. Esta condicionante é pouco significativa nos casos em que existe um sistema sobrepressor ou elevatório próprio no edifício ou instalação embora a diminuição da pressão se possa reflectir no aumento da frequência de funcionamento dos equipamentos ou pressão disponível a jusante. Nos restantes casos, as diferentes situações devem ser identificadas e analisadas no âmbito da definição do sistema de gestão de pressões.

Alguns consumidores industriais ou outros grandes consumidores podem ter impactos significativos no funcionamento do sistema, por efeito de caudais elevados ou padrões diários específicos, e por isso também devem ser devidamente considerados nas diversas fases de estabelecimento de um sistema com gestão da pressão.

**Uma alternativa básica para o controlo da pressão é a sectorização das redes**

### 7.3.4 Alternativas para controlo de pressões

A gestão de pressões pode resultar no aumento ou diminuição das pressões em diferentes sectores das redes de distribuição, sendo muitas vezes necessário adoptar sistemas dinâmicos que tenham uma resposta activa às variações diárias ou outras. Diferentes alternativas estão disponíveis para efectuar o controlo de

pressões, desde a sectorização das redes até às válvulas automáticas com controlo dinâmico. Estas alternativas devem ser adequadamente combinadas no dimensionamento de um esquema de gestão da pressão.

*Sectorização*

Uma forma de controlar a pressão num sistema é proceder à sua sectorização, frequentemente com recurso a operação de válvulas, de forma a estabelecer "andares" de pressão. Sistemas com abastecimento por gravidade podem ter a sectorização relacionada com a topografia enquanto que, em sistemas com alimentação por elevação, a sectorização estará dependente do nível dos reservatórios (Thornton, 2002).

O abastecimento da rede directamente a partir da adução ou de sistemas elevatórios é totalmente desaconselhado devido à dificuldade de controlar a pressão nessas circunstâncias. O abastecimento dos sectores deve ser feito a partir de reservatórios destinados a amortecer as variações da pressão e do caudal.

Naturalmente que a sectorização deve ser concebida considerando não só a garantia da pressão mínima, mas também a pressão máxima e a manutenção de um nível de pressões estável. Devem ainda ser encontradas soluções adequadas para os edifícios altos e instalações industriais. A sectorização com o objectivo do controlo da pressão - *Zonas de Gestão da Pressão*, *(ZGP*) (P*ressure Management Areas, PMA*, Ulanicki *et al.*, 2000) deve estar associada ao estabelecimento de ZMC de forma a compatibilizar os seus limites.

De acordo com Bragalli e Sacchi (2002), devem ser considerados os seguintes critérios para o estabelecimento de ZGP:

- Definição de zonas homogéneas em termos das características hidráulicas, estado de conservação da rede incluindo ramais, e tipologia dos padrões de consumo;
- definição de zonas vulneráveis a partir da análise dos registos de roturas;
- minimização do fecho de válvulas, tirando partido de fronteiras existentes;
- garantia dos níveis de serviço relacionados com o funcionamento hidráulico e da qualidade da água em cenários normais e de emergência.

Os sectores podem ter dimensões muito variadas devendo ser avaliados para cada caso. Poderá ser necessário proceder à substituição de condutas e a alterações no funcionamento das redes. Detalhes do procedimento para estabelecimento de ZGP podem ser encontrados em Farley (2001) e Yoshimoto *et al.* (1999).

### *Válvulas redutoras de pressão (VRP)*

As válvulas redutoras de pressão (VRP) são acessórios que permitem obter uma pressão predefinida a jusante da sua instalação. Existem diferentes tipos de VRP, com actuação mecânica, eléctrica ou hidráulica, podendo ser divididas em quatro tipos principais (Farley, 2001; McKenzie, 2001; McKenzie e Wegelin, 2002; Yoshimoto *et al.*, 1999):

- **Pressão de saída fixa** (sem controlador): utilizada quando se pretende obter um valor de pressão fixo à entrada de uma zona. Aplica-se em zonas onde se verificam pequenas variações no consumo e perdas de carga relativamente pequenas (< 10 m.c.a.) (Figura 33).

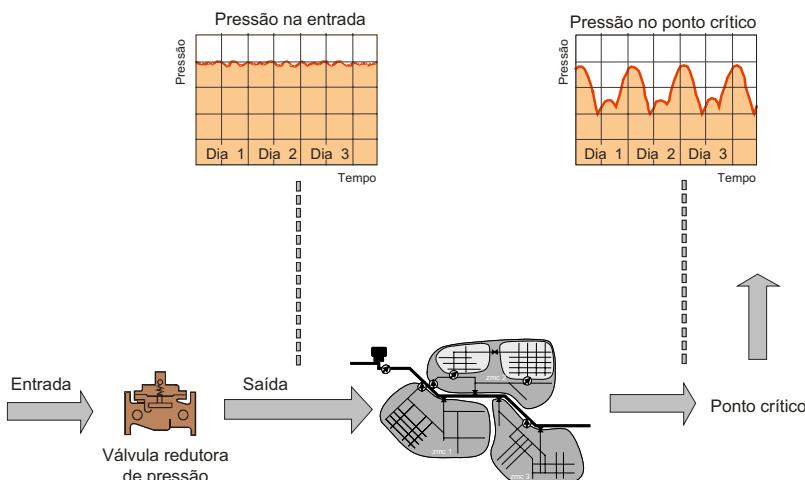
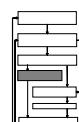



Figura 33 – Controlo de pressão usando uma VRP com pressão de saída fixa (adaptado de McKenzie e Wegelin, 2002)

- **Pressão de saída modulada por tempo**: apropriada para casos em que o sistema apresenta perdas de carga significativas (> 10 m.c.a.) e em que o perfil de consumo seja regular. A pressão à saída da válvula consiste num padrão com patamares de pressão variáveis no tempo (Figura 34 e Figura 35). As VRP moduladas por tempo permitem uma forma simples de controlo de pressão avançado e constituem a solução mais barata. É particularmente adaptada para situações de pressão nocturna excessiva.
  O principal problema potencial com este tipo de VRP é a ocorrência imprevista de caudais elevados, como no caso de combate a incêndios. Como a regulação é fixa, a consequência é uma redução da pressão que poderá ser problemática, se ocorrer em períodos de menor pressão. Uma limitação adicional resulta de não ser conveniente estabelecer grandes diferenças entre a pressão inferior e superior, preferencialmente não excedendo 20 m, pois há risco de ocorrência de choque hidráulico e de cavitação.

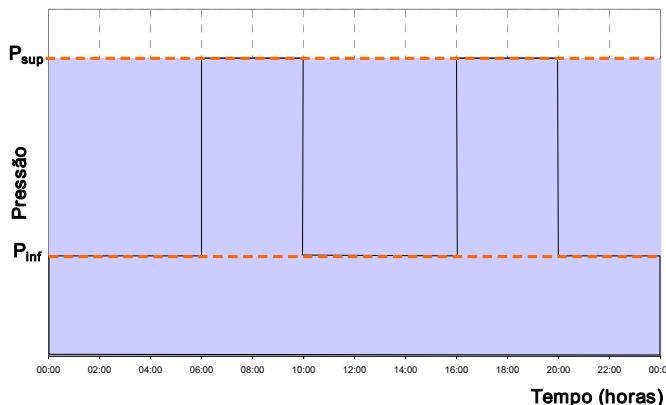



Figura 34 – Exemplo de perfil de pressão de uma VRP com pressão de saída modulada por tempo (McKenzie, 2001)

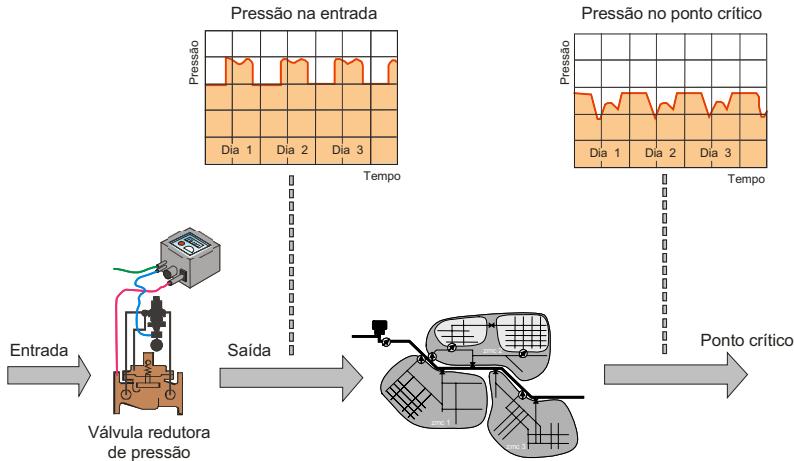
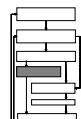



Figura 35 – Controlo de pressão usando uma VRP com pressão de saída modulada por tempo (adaptado de McKenzie e Wegelin, 2002)

- **Pressão de saída modulada pelo caudal**: recomendada nas situações em que existem grandes perdas de carga no sistema (por exemplo, em grandes áreas) e mudanças no perfil de consumo que podem ser causadas por variações no tipo de uso ou na população (por exemplo por efeito da sazonalidade). O funcionamento típico é exemplificado na Figura 36. Este tipo de VRP necessita de estar associada a um medidor de caudal. Neste caso obtém-se maior flexibilidade no controlo mas têm um custo superior. A pressão é estabelecida de acordo com a procura, minimizando-se a pressão excessiva na zona a jusante.
- **Pressão de saída modulada por pressão em ponto crítico**: este tipo de VRP pode ser controlada, por exemplo, via telefone ou rádio, em função da pressão verificada num ponto crítico da zona, sendo a pressão de saída da VRP ajustada de forma a não se verificar excesso de pressão durante todo o período (Figura 37). Assim, pode ser mantida a pressão no ponto crítico num valor pré-determinado.

Na Figura 33, Figura 35 e na Figura 36 observa-se o tipo de efeito do controlo de pressão para os três tipos de VRP descritos, tanto à saída da válvula como num ponto crítico da zona.

As VRP apresentam-se em diferentes configurações incluindo válvulas de mola, de pistão ou de diafragma. Em EOC (1994),

Thornton (2002) e Yoshimoto *et al.* (1999), entre outros, são apresentados os diferentes tipos de válvulas e suas características. Deve ainda ser consultada a informação detalhada disponibilizada pelos fabricantes, essencial para uma escolha apropriada.

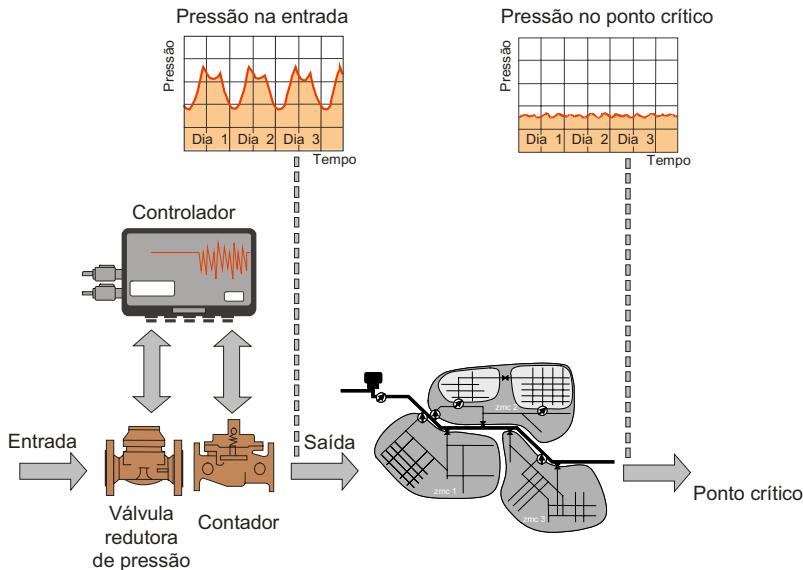



Figura 36 – Controlo de pressão usando uma VRP com pressão de saída modulada por caudal (adaptado de McKenzie e Wegelin, 2002)

### *Sobrepressoras*

Em zonas da rede de distribuição em que se verifiquem pressões deficientes, principalmente nos picos de consumo, pode ser prevista a colocação de uma sobrepressora, que permitirá elevar a pressão localmente sem aumentar noutros sectores da rede.

A utilização de bombas de velocidade fixa não é aconselhável para esta finalidade devendo usar-se bombas de velocidade variável. Estas permitem maior flexibilidade na gestão de pressões e dar melhor resposta às variações de consumo. Detalhes sobre a utilização de sobrepressoras para controlo de pressões é apresentada por EOC (1994), entre outros.

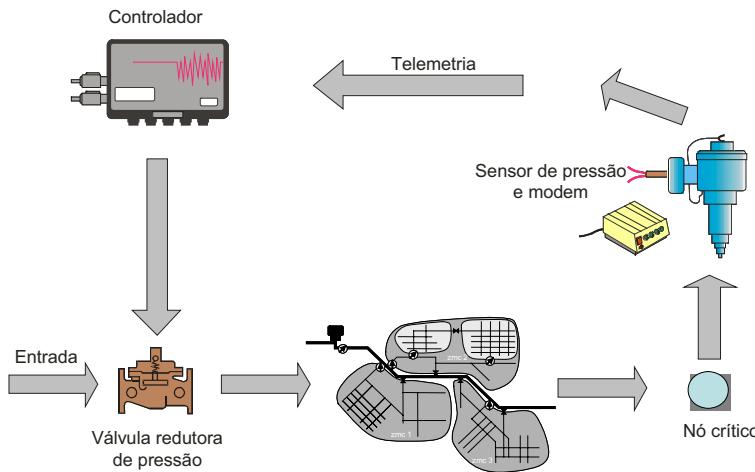
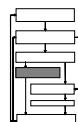



Figura 37 – Controlo de pressão usando uma VRP com pressão de saída modulada por pressão em ponto seleccionado (adaptado de McKenzie e Wegelin, 2002)

*Reservatórios e instalações elevatórias*

Qualquer reservatório ou instalação elevatória apresenta algum potencial para controlo de pressão a um custo relativamente baixo. Os níveis operacionais dos reservatórios devem ser estabelecidos de modo a minimizar as pressões elevadas e a evitar a ocorrência de extravasamentos que podem estar na origem de perdas significativas. A monitorização dos níveis permite avaliar oportunidades de correcção tanto em termos de gestão da pressão como de redução de extravasamentos. A escolha dos períodos de bombeamento deve ser feita de modo a evitar causar um aumento significativo das pressões na rede.

### 7.3.5 Concepção e implementação de um programa de gestão de pressões

A concepção de um programa de gestão de pressões deve ser abordada de uma forma integrada e faseada, pois interage com muitos outros aspectos de gestão de um sistema de abastecimento de água. Naturalmente que se enquadra directamente num programa de controlo activo de perdas e no estabelecimento de ZMC.

Qualquer programa para gestão de pressões deve precaver os requisitos de funcionamento do sistema e avaliar os efeitos de novos esquemas de gestão da pressão incluindo:

- Garantia das pressões mínimas e máxima em qualquer ponto do sistema e influência da topografia;
- estabilidade da pressão na rede de distribuição;
- garantia dos caudais de incêndio;
- garantia dos caudais e pressões em edifícios altos e instalações industriais;
- relação entre pressão e caudais em fugas existentes e efeitos na redução do caudal de perdas e na taxa de ocorrência de novas fugas ou roturas;
- efeito na redução do consumo em dispositivos sujeitos à pressão do sistema público;
- previsão dos efeitos da gestão de pressões sobre perda de facturação;
- garantia do enchimento eficiente dos reservatórios em período nocturno;
- garantia de condições e estabelecimento dos procedimentos para evitar o funcionamento deficiente das válvulas redutoras de pressão.

Um programa de gestão de pressões deve ser integrado com outras actividades de gestão do SAA

Na Figura 39 apresenta-se uma abordagem possível para as fases de concepção de um sistema de gestão de pressão até à sua implementação.

A análise e avaliação do sistema existente, identificando problemas com níveis de pressão, perdas e roturas, baseiam-se na informação disponível sobre o sistema, incluindo o recurso a ferramentas de análise como sejam a modelação matemática e sistemas de cadastro informatizado. A informação de medições no sistema é também essencial, quer sejam dados pré-existentes, quer seja monitorização complementar em pontos específicos do sistema. Este tipo de dados é também indispensável em fases posteriores de operação e manutenção. Outras fontes de informação incluem dados de operação e manutenção e reclamações dos consumidores.

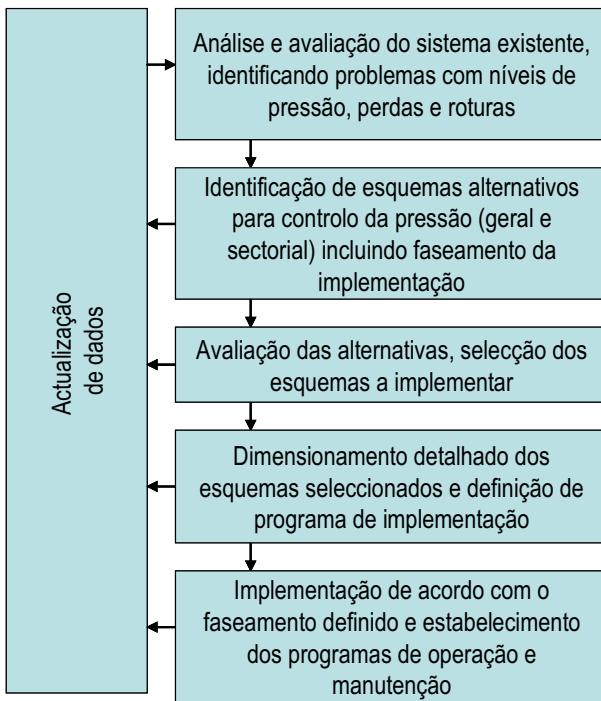
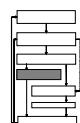



Figura 38 – Faseamento na concepção e implementação de um programa de gestão de pressão

O modelo matemático do sistema, embora não seja indispensável para este fim, é de grande utilidade não só na fase de avaliação do sistema existente mas também para a definição e análise de alternativas. Deste modo é facilitada a identificação de áreas com pressões excessivas (Figura 39), de zonas com grandes perdas de carga (onde controladores com modulação por caudal podem ser de grande utilidade), de áreas com pressão deficientes e avaliados diferentes cenários de consumo (incluindo caudais de combate a incêndio). Naturalmente que o modelo terá de estar actualizado e calibrado (Rossman, 2004; Coelho *et al.*, 2005). A aplicação da modelação matemática para estabelecimento de ZGP é detalhada por Walski *et al.* (2003).

**A modelação matemática é de grande utilidade na concepção de programas de gestão de pressões**

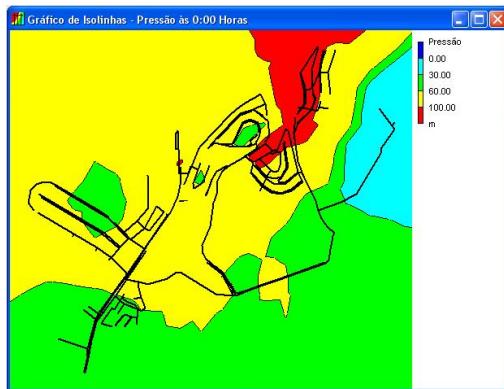
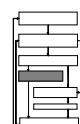



Figura 39 – Exemplo de resultado de simulação onde se identificam as variações espaciais de pressão e zonas com excesso de pressão

Nesta fase, de análise e avaliação do sistema existente, devem ser identificados (Thornton, 2002):

- Percentagem do consumo directamente afectado pela pressão;
- percentagem do consumo a partir de reservatórios individuais;
- pontos de alimentação do sistema, por gravidade ou por bombagem;
- parcelas do consumo por tipo de consumidor (p.ex. residencial, comercial e industrial);
- níveis de controlo dos reservatórios de equilíbrio;
- níveis de funcionamento de bombas.

A identificação de esquemas alternativos de controlo da pressão inclui a delimitação de novas zonas onde a pressão pode ser reduzida (ZGP), a eventual extensão de ZGP existentes, novos sistemas de controlo de pressão em ZGP existentes e localização de sobrepressoras em certas zonas de forma a permitir a redução da pressão noutras. Em sectores dos sistemas de distribuição com várias ZMC, o potencial para redução da pressão deve ser avaliado, considerando os valores da pressão nos vários pontos críticos e as respectivas pressões médias nocturnas.

Uma vez identificadas as ZGP potenciais é necessário definir as fronteiras de cada zona. Os dados básicos necessários para a avaliação de cada alternativa incluem:

- Número de válvulas de fronteira, avaliado a partir dos elementos de cadastro;
- número de pontos críticos e suas cotas avaliados a partir dos elementos de cadastro;
- potencial de redução da pressão em situação de ponta usando a melhor estimativa da pressão existente nos pontos críticos;
- número de consumidores em cada ZGP;
- número de locais para colocação de VRP.

A avaliação das alternativas e a selecção dos esquemas a implementar passa pela comparação com recurso a indicadores de desempenho e análise de custo-benefício.

*Análise de custos – benefícios*

A análise de custos – benefícios pode ser aplicada em várias fases, desde a concepção até ao dimensionamento de esquemas de gestão da pressão. Numa fase inicial poderão ser usadas estimativas com base em projectos semelhantes ou proceder ao dimensionamento das diferentes alternativas. Vários factores devem ser considerados (Farley e Trow, 2003):

- Custos associados à fase de dimensionamento – recolha e processamento de dados, monitorização, consultadorias, testes no sistema;
- aquisição de equipamento – quer do equipamento específico para controlo da pressão, como sejam as VRP e medidores de caudal, quer dos outros equipamentos necessários como sejam válvulas, juntas, câmaras, etc. O custo das VRP comparado com outras parcelas é relativamente baixo, pelo que não é significativo, em geral, optar por válvulas mais dispendiosas que permitem maior flexibilidade no controlo de pressão. Deve ser considerada a vida útil das válvulas e o custo da substituição durante o horizonte de projecto estabelecido;
- instalação – incluindo custos de escavação, assentamento de condutas, materiais, construção civil, etc. As câmaras de válvulas devem prever as diferentes possibilidades de configuração para instalação das válvulas (por exemplo, em *by-pass*, *on-line*, válvulas em paralelo, ou associação a um medidor de caudal);

- **monitorização** – custos dos equipamentos de medição (de pressão e caudal) e, dependendo do esquema de medição, dos sistemas de telemedição e/ou controlo;
- **manutenção de válvulas** – diferentes tipos de válvulas têm diferentes requisitos de manutenção e a escolha das válvulas deve avaliar cuidadosamente os requisitos de manutenção. A importância deste item depende do número de válvulas e de existirem previamente técnicos para a execução dessa tarefa. A manutenção inclui limpeza de filtros, limpeza de válvulas, lubrificação de partes móveis, substituição de peças desgastadas ou degradadas;
- **intervenções na rede de distribuição** – em alguns esquemas poderá ser necessário proceder à substituição ou construção de troços de conduta. Podem existir custos associados a intervenções para resolução de problemas específicos de edifícios altos ou unidades industriais.

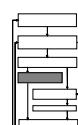
A par da estimativa dos custos devem ser avaliados os benefícios incluindo:

- Redução do caudal de perdas reais;
- redução do número de roturas;
- aumento da vida útil da rede de distribuição;
- aumento da qualidade de serviço e redução do número de reclamações;
- redução de custos de exploração;
- impacto nas necessidades de investimento para resposta ao aumento da procura.

Existem vários programas de computador específicos que permitem avaliar previamente o impacto de esquemas de gestão da pressão em termos de poupanças tanto de volumes como de custos e estimativa do retorno do investimento. Os dados necessários variam com o programa. Alguns dos programas disponíveis são referidos em Yoshimoto *et al.* (1999), Bragalli e Sacchi (2002) e McKenzie e Wagelin (2002), entre outros.

*Monitorização*

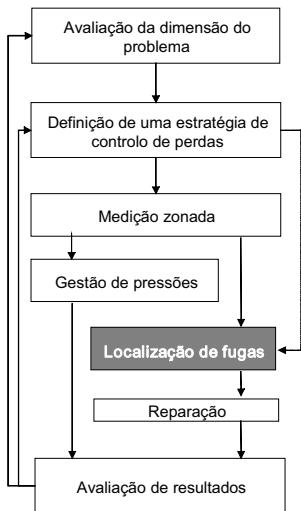
Em qualquer projecto de gestão de pressões deve ser previsto um mínimo de pontos de medição para a monitorização de acompanhamento do acompanhamento do sistema. Assim, deve ser prevista monitorização nos seguintes pontos:

- **Nós de abastecimento a um sistema ou zona** – incluindo condutas elevatórias, estações de tratamento, reservatórios, poços ou transferências de água de outro sistema ou zona. Em certos casos pode ocorrer inversão do sentido de escoamento.
- **Nós de armazenamento** – incluindo reservatórios, albufeiras e tanques.
- **Nós críticos** – pontos no sistema com limitações de pressão ou caudal, por efeito da topografia ou de perdas de carga, ou em casos de consumidores que não podem ficar sem abastecimento, por exemplo, unidades hospitalares ou industriais.
- **Nós representativos** – nós seleccionados como sendo representativos das condições médias na zona ou sistema (cota topográfica, pressão, perda de carga, etc.).

A medição de pressão deverá ser garantida em todos os nós acima indicados. A medição de caudal deve ser prevista, no mínimo, em todos os pontos de abastecimento do sistema ou zona, como indicado sistematicamente na Figura 2.

Se as medições não forem permanentes devem ser garantidos períodos representativos das variações diárias, semanais ou sazonais expectáveis.

A selecção de VRP adequadas é determinante para o sucesso na implementação de um programa de gestão da pressão. Segundo Farley (2001), devem ser considerados os seguintes critérios:

- Custo;
- adequação a instalações com telemetria;
- possibilidade de controlo remoto;
- facilidade de manutenção;
- fiabilidade;
- disponibilidade;
- gama de operação (caudal e pressão);
- estabilidade na pressão de saída;
- rapidez da resposta a alterações no caudal.

Um programa de gestão activa da pressão deve ter acompanhamento, avaliação e ajustamentos periódicos, incorporando alterações que se vão verificando no sistema de abastecimento.

No dimensionamento de VRP devem ser utilizadas as informações fornecidas pelos fabricantes (*software* ou ábacos) incluindo a contabilização das perdas de carga totais através quer da válvula quer do by-pass, de forma a garantir o funcionamento do sistema para os diferentes cenários possíveis de operação. Deverá ser precavida a situação de falha do sistema de controlo da válvula, ficando esta em serviço mantendo um valor de serviço constante.

Em certos casos, poderá ser necessário adoptar configurações em que são utilizados mais de um ponto de abastecimento para cada zona. Nesta situação, a definição das estratégias de operação das VRP e outros pontos de controlo torna-se mais complexa. Adicionalmente, poderá ser recomendável usar informação em mais de um ponto crítico para estabelecer o nível de referência para a pressão a jusante da VRP. Métodos para definição de estratégias nestes casos são apresentados, por exemplo, por Ulanicki *et al.* (2000).

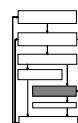
## 7.4 Localização de fugas

### 7.4.1 Nota introdutória

Tanto na determinação do nível-base de perdas, como posteriormente sempre que a monitorização identifique a ocorrência de um nível de perdas acima do definido como aceitável, será necessário proceder à localização aproximada e detecção das suas causas. Esta secção revê os métodos actualmente disponíveis para esse fim.

Uma primeira categoria de métodos de localização aproximada baseia-se no estreitar da malha de medição, seja através do subzonamento interno, ou do fecho progressivo utilizando o medidor da ZMC, metodologias essas que se descrevem na secção 7.4.2. São métodos que se destinam a determinar a existência de fugas numa área específica ou, no máximo, num troço de rede.

Estes métodos são essenciais para dirigir a equipa de inspecção para zonas restritas. No entanto, será necessário descobrir o local exacto da fuga ou fugas em causa, para que a equipa de reparação possa agir sem desperdício de esforço de escavação. As técnicas de localização exacta com maior aplicabilidade baseiam-se nas propriedades acústicas do escoamento da fuga, utilizando quer a sondagem acústica tradicional, quer a correlação acústica. Estes métodos são descritos na secção 7.4.3, juntamente com outros menos utilizados.

### 7.4.2 Localização aproximada

*Subzonamento*

O subzonamento interno de uma ZMC não é mais do que o refinamento espacial das técnicas de medição zonada apresentadas anteriormente. Quando o nível de perdas numa ZMC sobe acima do nível-base, pode tentar-se reduzir o esforço de detecção acústica através do isolamento e medição de subzonas. Para isso, é necessário não só que existam válvulas cujo fecho permita a aplicação (interna à ZMC) da metodologia de delimitação descrita anteriormente, mas também que a disposição dos medidores proporcione tal subdivisão, ou que se possa utilizar equipamento de medição móvel em campanhas temporárias.

Tal como para a totalidade da ZMC, também para as subzonas se procede à medição e cálculo de caudais nocturnos. Utilizam-se neste caso campanhas temporárias em que as subzonas só são fechadas durante o tempo necessário para o teste. Se o fecho conduzir a isolamentos críticos, deverá ser efectuado só durante a noite.

Uma outra solução, utilizada em grandes ZMC em que o fecho de válvulas internas implique alterações incomportáveis à distribuição de caudais, consiste em instalar medidores permanentes ao longo das fronteiras das subzonas que não interesse isolar, sendo esses medidores apenas lidos quando for necessário recorrer a campanhas de subzonamento. Soluções mistas das duas técnicas são também plausíveis.

Tendo sido desencadeado pela detecção de subidas anormais nos níveis totais da ZMC, o subzonamento deve ser levado a cabo em sucessão rápida para permitir a identificação da(s) subzona(s) problemáticas.

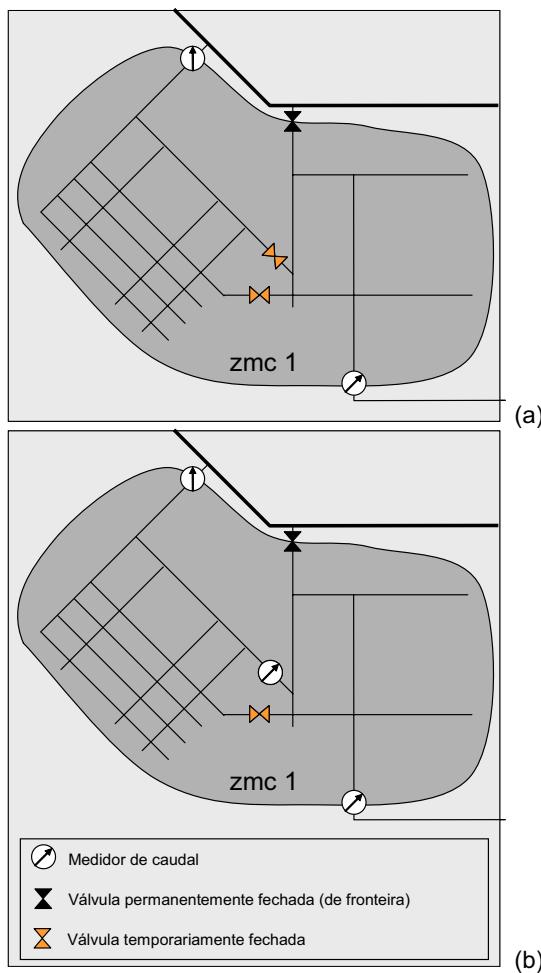



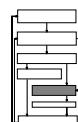
Figura 40 – Localização aproximada por subzonamento (a) por fecho de válvulas e (b) utilizando medidores

### *Fecho progressivo*

A escolha criteriosa do equipamento de medição utilizado nas ZMC é importante para a utilização da técnica de fecho progressivo, a qual necessita de medidores com uma boa sensibilidade a caudais significativamente mais baixos do que aqueles normalmente medidos.

A técnica consiste em ir fechando válvulas dentro da ZMC, partindo das zonas hidraulicamente periféricas e caminhando no sentido do medidor. Vão-se assim isolando e medindo áreas progressivamente mais pequenas, *centradas* no ponto de medição da ZMC.

Tal como com o subzonamento, o fecho progressivo é utilizado em campanhas nocturnas temporárias. O caudal nocturno para cada secção é registado ao longo do teste, e se uma redução significativa for encontrada de uma secção para a seguinte, isso permitirá estreitar espacialmente a busca.

### 7.4.3 Localização-detecção exacta

*Introdução*

Existem várias maneiras de detectar a posição *exacta*[6] de uma fuga, baseando-se a generalidade dos métodos mais utilizados na detecção do ruído provocado pela fuga. Nenhuma das técnicas apresenta eficácia absoluta, mas em cada situação de utilização será possível distinguir técnicas mais apropriadas do que outras, sendo, no entanto, todas elas bastante dependentes da perícia, experiência e capacidade de análise do operador.

Os métodos acústicos baseiam-se, como o título indica, no facto de uma fuga de água numa conduta sob pressão emitir um ruído específico, definido por uma gama de frequências determinada. A distribuição de frequências produzidas por uma fuga é específica dessa fuga e depende de factores como o tipo e tamanho do(s) orifício(s), pressão, material da tubagem, tipo de solo e respectivo grau de saturação. O ruído produzido é difundido ao longo da tubagem, a uma velocidade dependente das características da água e do material da tubagem, e em certos casos através do solo. Ao ser difundido, o ruído altera-se, sendo atenuadas as altas frequências e possivelmente amplificadas outras frequências devido a cavidades ou equipamento subterrâneo. O som detectado dependerá portanto das posições relativas do local de "escuta" e da fuga.

---

[6] Deve entender-se no sentido lato, podendo ir de uma localização precisa, da ordem do(s) metro(s) a um troço inteiro de tubagem entre dois acessórios.

*Sondagem acústica*

O método mais comum de identificação do posicionamento de uma fuga é por sondagem acústica directa. Consiste em sondar directamente, por intermédio de aparelhos de escuta, os pontos de mais fácil acesso da própria tubagem, como sejam válvulas, torneiras e marcos de incêndio. O operador necessita de bastante experiência para poder fazer uso completo da técnica, identificando os ruídos que são produzidos por fugas e procurando as maiores intensidades. O ponto sondado com maior intensidade será aquele que está mais perto da fuga, se bem que nem sempre esta regra se verifique. A técnica consome bastante tempo, pois o inspector geralmente necessita de tentar várias hipóteses, fechar torneiras aqui e ali até começar a identificar o local exacto da fuga.

A maneira mais eficiente de utilizar a técnica consiste numa primeira aproximação sondando apenas as válvulas e marcos de incêndio, com o refinamento da posição a ser obtido com base nos demais acessórios disponíveis.

Uma variação da sondagem directa é a sondagem de superfície ou indirecta, que consiste em escutar pontos na superfície directamente acima da tubagem, onde a rigidez, compacidade e homogeneidade do solo e da superfície o permitam. É de aplicabilidade mais restrita, visto que apenas em zonas urbanas em que o solo, com as características anteriores, não tenha sido mexido após instalação da tubagem se podem esperar alguns resultados.

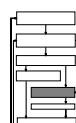
Sendo o método mais intensivo de procura de fugas, a sondagem directa é considerada um método rentável. As suas principais vantagens são o custo pouco elevado do equipamento, a velocidade de verificação de pontos de escuta (em condições de pouco ruído de fundo, normalmente de noite) e a possibilidade de detectar fugas para lá da ligação particular, se houver a possibilidade de fechar e abrir a respectiva torneira para testar a hipótese.

As principais desvantagens são a dificuldade ocasional em distinguir o ponto de maior intensidade acústica, o facto de este nem sempre coincidir com o acessório mais próximo da fuga, a ineficácia ou impossibilidade de utilização em áreas de maior ruído de fundo (especialmente o que se mantém durante a noite, como perto de instalações industriais, estações de bombeamento, etc.),

a dependência na perícia e experiência do operador, e o facto de alguns tipos de fugas não produzirem ruído suficiente.

Como se referiu, os problemas relacionados com ruído de fundo podem ser atenuados efectuando a sondagem durante a noite.

*Correlação acústica*

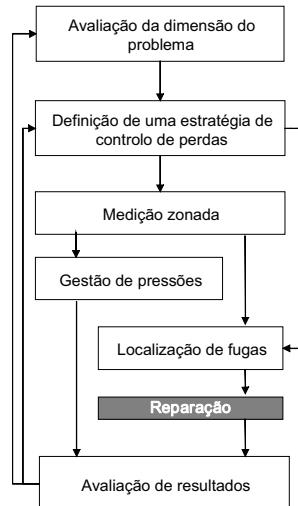
Este método utiliza o correlador acústico, um aparelho de localização que não procura o ponto de maior ruído mas sim efectua a escuta em dois pontos diferentes da tubagem e determina a posição relativa da fuga por correlação cruzada, calculando a diferença de tempo verificada no registo das mesmas frequências através dos dois microfones.

Os avanços verificados no equipamento, com o advento dos correladores portáteis de fácil utilização com amplificação via rádio, tornaram esta técnica bastante eficaz. É particularmente útil em áreas urbanas onde exista um grande número de acessórios (pontos de escuta). É normalmente utilizado em duas fases, com um primeiro levantamento da área em estudo e uma detecção mais precisa uma vez identificadas as tubagens contendo fugas.

O correlador acústico para detecção de fugas é actualmente utilizado pela grande maioria das entidades gestoras britânicas primordialmente em conjunto com as outras técnicas de detecção acústica (Farley e Trow, 2003; Farley e Martin, 1994).

Existe actualmente uma variedade de equipamentos fixos ou móveis, utilizando esta técnica, que permitem, em conjunto com um computador portátil e aplicações específicas, processar os dados registados e localizar a origem dos ruídos por triangulação. Este tipo de programas pode ainda tirar partido do cadastro digitalizado para poder calcular com maior precisão a localização de fugas potenciais.

*Outros métodos*

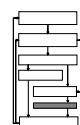
O meio mais primário e elementar de localização de uma fuga é o recurso a observações simples, como a procura de indicadores de humidade anormal no solo, desde a formação de musgo ou crescimento de vegetação até ao aparecimento da água em si. O inspector efectuando sondagem acústica está bem consciente desses sinais, que por vezes lhe permitem estreitar bastante a busca.

A inspecção por câmara de vídeo controlada remotamente (CCTV, ou *closed-circuit television*) é uma técnica potencialmente utilizada no âmbito de programas de reabilitação de sistemas. Trata-se de uma técnica bastante sofisticada, exigindo equipamento dispendioso e operadores especializados. A tubagem é isolada e uma abertura efectuada, normalmente numa junta, por onde se introduz uma pequena câmara móvel que percorre o troço até se identificar e localizar o problema. Esta técnica poderá ser necessária na caracterização de situações excepcionais, mas não constitui habitualmente uma opção utilizada em programas de detecção de fugas.

Finalmente, resta a identificação directa por escavação da conduta, seja a comprimentos fixos (por exemplo, vara a vara de tubagem), seja por redução sucessiva do comprimento da tubagem em causa, dividindo cada troço em dois, ensaiando a estanquidade de cada metade e prosseguindo para a metade que contém a fuga. São obviamente situações extremas, muito pouco rentáveis, mas por vezes inevitáveis.

## 7.5 Reparação do sistema

### 7.5.1 Tipos de reparação

De uma forma geral, as intervenções de reparação decorrentes da localização de fugas são pontuais, e fazem uso das mesmas técnicas adoptadas na reparação de avarias reportadas.

No entanto, quando os níveis de perdas reais são muito elevados numa determinada zona ou a taxa de roturas indicia um mau estado geral de conservação, pode ser preferível proceder a intervenções mais abrangentes, de reabilitação. O âmbito da reabilitação pode limitar-se a uma ou outra conduta, ou pode ser mais alargado.

Nesta secção dá-se especial atenção às intervenções de reabilitação, clarificando a terminologia relativa a esta matéria e apresentando sinteticamente a estratégia de reabilitação desenvolvida no âmbito do projecto de investigação sobre reabilitação de condutas "CARE-W".

### 7.5.2 Tipos de reabilitação

É importante definir a terminologia a utilizar na área da reabilitação, na medida em que é relativamente nova dentro do sector e no contexto nacional. A sugestão da terminologia a adoptar é a que se apresenta seguidamente. São igualmente indicados os termos equivalentes em inglês, internacionalmente utilizados, para facilitar a correspondência de conceitos.

Reabilitação (*rehabilitation*) é qualquer intervenção física que prolongue a vida útil de um sistema existente e ou melhore o seu desempenho hidráulico, estrutural ou de qualidade da água, envolvendo a alteração da sua condição ou especificação técnica.

Este conceito aplica-se a um sistema entendido na sua globalidade ou apenas relativamente a um sector ou subsector, mas não a um componente individualizado.

Excluem-se as acções relativas à operação e manutenção, como limpeza, desinfecção e remoção de raízes, excepto quando os procedimentos de reabilitação implicam a sua realização como trabalhos preparatórios ou complementares.

Relativamente ao objectivo pretendido, a reabilitação pode ser dividida em estrutural, hidráulica e de qualidade da água. Relativamente à metodologia utilizada, a reabilitação inclui a renovação, a substituição e - apenas no caso da reabilitação hidráulica - o reforço de componentes do sistema.

Renovação (*renovation*) é uma intervenção de reabilitação - estrutural, hidráulica ou de qualidade da água - sobre um componente do sistema existente, com o seu aproveitamento funcional e sem aumento da capacidade de utilização original.

O termo restauro (*refurbishement*) é sinónimo de renovação e utiliza-se habitualmente para os equipamentos.

A renovação inclui revestimento interior não estrutural para a protecção contra a corrosão, tal como argamassa de cimento ou resina epoxy.

De uma forma geral, uma reparação (*repair*) é uma intervenção pontual rectificativa de uma anomalia localizada, podendo inserir-se ou não em acções de reabilitação. No contexto específico da reabilitação estrutural de tubagens, a reparação corresponde a um caso específico da renovação, é uma intervenção de reabilitação rectificativa de um conjunto de anomalias estruturais localizadas na tubagem ou de reconstrução de trechos curtos.

Substituição (*replacement*) é uma intervenção de reabilitação - estrutural, hidráulica ou de qualidade da água - sobre um componente do sistema existente, com a sua desactivação funcional e construção ou instalação de um novo componente, tendo este último funções e capacidade semelhantes ou distintas das existentes.

As funções e capacidade são, em geral, semelhantes nos casos de reabilitação estrutural e de qualidade da água e são, normalmente, distintas no caso de reabilitação hidráulica, por exemplo com aumento do diâmetro da conduta.

No caso de condutas, a substituição inclui não só a construção tradicional de uma nova conduta no lugar da existente mas

também o revestimento estrutural interno da tubagem existente, que passa a funcionar como cofragem.

Reconstrução (*renewal*) é um caso particular da substituição e consiste numa intervenção de reabilitação com construção de uma nova tubagem para substituição de uma tubagem existente que é colocada fora de serviço, tendo a nova tubagem função e capacidade semelhantes às da existente (ex. o mesmo diâmetro). Pode incluir técnicas com inserção de tubagem no interior da existente. A reconstrução não é um subconjunto da renovação.

Reforço (*reinforcement*) é uma intervenção de reabilitação hidráulica sobre um componente do sistema existente, com a construção de um componente adicional, que complementa a capacidade do componente existente ou constitui uma alternativa a ele.

A Figura 41 sintetiza os tipos de intervenção relativos à reabilitação estrutural, à reabilitação hidráulica e à reabilitação de qualidade da água.

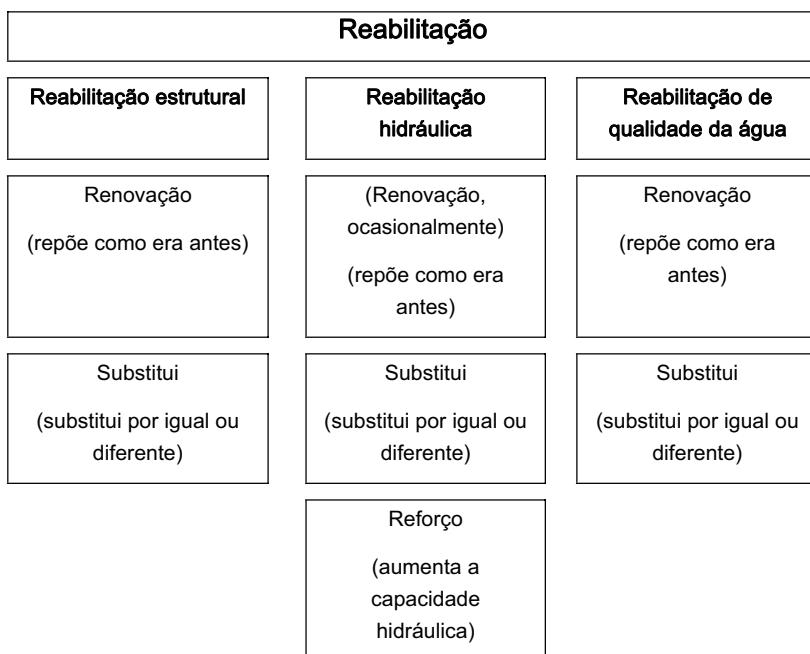
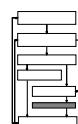



Figura 41 – Componentes principais do protótipo CARE-W

### 7.5.3 Reabilitação de redes de água – a abordagem CARE-W

Dados os avultados investimentos em jogo, é necessário fundamentar bem as decisões sobre "quanto", "onde", "quando" e "como" reabilitar as redes de distribuição, com base em critérios técnicos, funcionais e económicos. Estas decisões são dificultadas pelo facto de se tratar de infra-estruturas enterradas que não podem ser facilmente inspeccionadas, pelo que é necessário recorrer a métodos de diagnóstico e apoio à decisão indirectos.

Foi neste contexto que nasceu e foi desenvolvido o projecto CARE-W (Computer Aided Rehabilitation of Water Networks), no âmbito do 5º Programa Quadro da União Europeia, que permitiu desenvolver, entre 2001 e 2003, um sistema para apoio ao planeamento da reabilitação de redes de distribuição de água. O sistema CARE-W pretendeu ajudar a responder às seguintes questões:

- Qual é a condição estrutural de uma conduta específica – e da rede no seu conjunto?
- Quais são as condutas mais vulneráveis?
- A taxa de roturas nas condutas vai crescer futuramente ou não?
- Como definir prioridades na selecção de projectos de reabilitação?
- Quais são as necessidades de investimento futuro na rede de distribuição?
- Como se poderá gerir melhor a rede de distribuição de água?

Assim, o objectivo do projecto foi o desenvolvimento de uma abordagem integrada aos problemas da reabilitação de condutas de água, com a produção de um relatório técnico (Sægrov *et al.*, 2004) e do protótipo de uma aplicação informática, o "CARE W Prototype", que integra diversas ferramentas de avaliação, análise e planeamento. Este conjunto de ferramentas ajuda a identificar as condutas mais problemáticas da rede de distribuição, a definir prioridades de reabilitação e a planear as intervenções. É possível atender a diversos critérios de decisão simultaneamente, tais como o histórico de roturas e de perdas de água, a importância que cada elemento tem em termos da fiabilidade hidráulica da rede e a coordenação com outras obras planeadas, entre outros. Uma vez que os recursos financeiros são inevitavelmente

limitados, é possível analisar estratégias diferentes de investimento e avaliar o seu impacto a médio e longo prazo.

De forma simplificada, a abordagem CARE-W (Figura 42) consiste na elaboração das seguintes actividades pelas entidades gestoras interessadas em implementar uma estratégia de reabilitação de condutas:

- Avaliação do desempenho da rede (globalmente e/ou por sectores), com base no cálculo de indicadores de desempenho;
- análise do histórico de falhas na rede e previsão do número de ocorrências futuras para cada tipo de conduta, sendo os tipos de condutas definidos pelo utilizador;
- avaliação da importância relativa de cada conduta em termos de fiabilidade hidráulica da rede;
- planeamento a longo prazo das intervenções de reabilitação e comparação do impacto de alternativas distintas (de forma agregada, sem identificação dos elementos específicos da rede que irão ser reabilitados);
- planeamento a curto prazo das intervenções, que permite identificar prioridades de intervenção conduta a conduta.

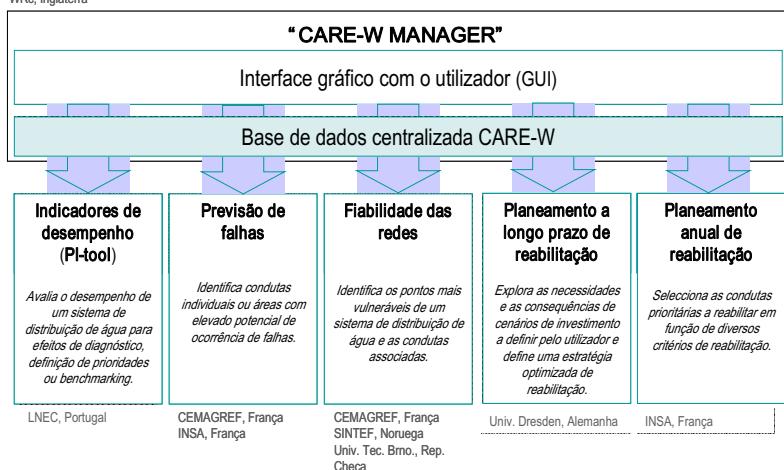
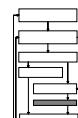



Figura 42 – Componentes principais do protótipo CARE-W

A abordagem CARE-W é inovadora e de grande actualidade e pertinência. A característica mais relevante prende-se com a

análise integrada que é proposta, desde o diagnóstico da situação e identificação de deficiências ao planeamento global e detalhado das intervenções de reabilitação.

Mesmo que as entidades gestoras não disponham de um sistema integrado como o sistema CARE-W, é importante que as intervenções de reabilitação sejam programadas de acordo com uma abordagem semelhante à desenvolvida:

- Estabelecimento de um diagnóstico sustentado em indicadores de desempenho adequados, com destaque para os indicadores operacionais de perdas de água e para os indicadores de frequência de avarias;
- análise do histórico de roturas e previsão da probabilidade de ocorrência de falhas no futuro;
- identificação das condutas mais críticas em termos da fiabilidade do sistema;
- definição das linhas estratégicas de actuação a longo prazo (planeamento de longo prazo)
- planeamento detalhado das intervenções prioritárias a realizar a curto prazo, em consonância com as linhas estratégicas de longo prazo.
- realização das intervenções.

Os testes do sistema CARE-W realizados em Portugal nos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Oeiras e Amadora e na EPAL puseram em evidência o interesse prático dos resultados do projecto para o nosso país. Contudo, puseram também em evidência a existência de algumas lacunas ou deficiências existentes em termos de informação crítica para a definição de uma estratégia de reabilitação, e que importa progressivamente corrigir ou colmatar. Refere-se, por exemplo, que não é vulgar haver registo fiável e facilmente acessível da data de instalação das condutas, sendo este um tipo de informação muito importante quando se está a definir a estratégia de reabilitação de uma rede. Outra lacuna verificada tem a ver com a informação relativa à vida útil das condutas e ao histórico de roturas de condutas substituídas. De facto, nas aplicações de SIG com que se trabalhou, quando uma conduta é substituída, deixa de estar acessível no SIG, perdendo-se a informação do seu histórico. Compreende-se a razão desta solução, mas salienta-se o valor desta informação no contexto da reabilitação.

# 8. AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

A última etapa do ciclo relativo ao controlo activo de perdas de água contempla a avaliação de resultados (Figura 43). Destina-se a avaliar a eficiência de utilização dos recursos afectados e a eficácia das medidas postas em prática, comparando a situação inicial do período em análise com a final. O principal objectivo desta fase a identificação de áreas de melhoria para o ciclo seguinte.

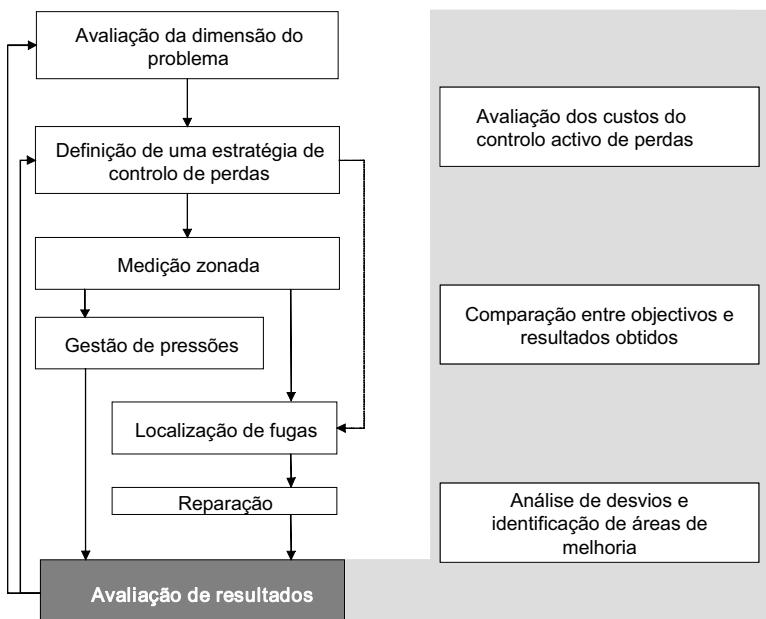
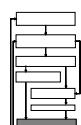



Figura 43 – Avaliação de resultados

A avaliação de eficiência requer uma correcta contabilização dos recursos utilizados, expressa em termos de custos. Na secção 6.2 aborda-se este tema a propósito do cálculo do nível económico de perdas reais. Para uma mais correcta interpretação dos resultados, devem distinguir-se os custos, distinguindo aqueles que são específicos do controlo de perdas (ex.: recursos humanos, equipamento e consumíveis relativos à detecção de fugas) dos que correspondem a uma melhoria da condição física

da infra-estrutura (ex.: custos de reparação e reabilitação) e dos que correspondem a um melhor controlo global do sistema (ex.: planeamento e instalação de zonas de medição e controlo; instalação de equipamento de medição de caudal). Esta distinção é importante porque cada grupo corresponde a um tipo de benefícios distinto. Estes benefícios também devem ser identificados e dentro do possível valorizados, de forma a permitir a análise custo-benefício da estratégia adoptada. Em complemento, deve ser analisada a evolução dos indicadores de desempenho previamente seleccionados para o efeito (ver a este propósito a secção 5.8).

A avaliação da eficácia, que pressupõe a comparação entre objectivos estabelecidos e resultados esperados, é também realizada com base na avaliação dos benefícios obtidos e na comparação entre os valores observados para os indicadores de desempenho adoptados e os definidos como meta no início do ciclo.

A última etapa da avaliação de resultados, e uma das mais importantes, contempla a análise das causas dos eventuais desvios entre objectivos e resultados e a identificação de aspectos a melhorar, de modo a ajustar o novo ciclo em conformidade, num processo de melhoria contínua.

# PARTE III – A EXPERIÊNCIA PORTUGUESA

# 9. A EXPERIÊNCIA PORTUGUESA – NOTA INTRODUTÓRIA

O controlo activo de perdas de água, não sendo ainda uma prática generalizada em Portugal, já conta com conhecimentos e experiência digna de nota em várias entidades gestoras. Naturalmente que a abordagem adoptada varia de caso para caso, com maiores ou menores aproximações à consagrada internacionalmente e recomendada neste manual. Em alguns dos casos, o trabalho de controlo de perdas já teve início há mais de dez anos e, apesar das diferenças de abordagem, a experiência adquirida é relevante e por isso merece ser partilhada com outras entidades que dela possam beneficiar.

Os casos de estudo que a seguir se apresentam não pretendem cobrir o universo de entidades portuguesas com actividade neste domínio. Resultam de um convite de participação que lhes foi feito pelo IRAR, e demonstram que o controlo de perdas de água é uma preocupação independente do enquadramento institucional em causa. São eles:

- O caso de Cascais (Águas de Cascais, S.A.);
- o caso de Gaia (Águas de Gaia, E.M.);
- o caso de Lisboa (EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.);
- o caso de Mafra (Compagnie Générale des Eaux – Delegação de Mafra);
- o caso de Oeiras (SMAS de Oeiras e Amadora);
- o caso de Santo Tirso (Indaqua Santo Tirso – Gestão de Águas de Santo Tirso, S.A.).

As descrições apresentadas são da responsabilidade de cada uma das entidades em causa, e foram elaboradas com base numa estrutura-tipo que lhes foi antecipadamente fornecida.

# 10. O CASO DE CASCAIS

## 10.1 Descrição geral

### 10.1.1 Perfil do operador

O sistema de abastecimento de Cascais é operado pela Águas de Cascais, S.A.. O Quadro 47 apresenta a informação que caracteriza o perfil deste operador.

Quadro 47 – Perfil do operador do sistema de abastecimento de Cascais

| | |
|---|---|
| Modelo institucional | ☐ Serviços Municipalizados<br>☐ Serviços Municipais<br>☐ Empresa Pública<br>☐ Empresa Municipal<br>☒ Concessão |
| Tipo de actividade | ☒ Abastecimento público de água<br>☒ Saneamento de águas residuais urbanas<br>☐ Gestão de resíduos sólidos urbanos |
| Dimensão do operador (valores de 2003) | Volume de negócios: $28x10^6$ €/ano |
| | Volume médio diário de água entrada no sistema: 63 715 $m^3$/dia |
| | Número total de empregados: 271 |
| | Número total de clientes registados: 102 028 |
| | Comprimento total de condutas de adução e distribuição (excluindo os ramais de ligação): 1 200 km |
| Tipo de sistema | ☒ Adução<br>☒ Distribuição |

### 10.1.2 Motivação específica para as acções de controlo de perdas

Uma das principais preocupações da AdC-Águas de Cascais, SA, quando iniciaram o Contrato de Concessão da Exploração do Sistema Municipal de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais do Concelho de Cascais em Janeiro de 2001, foi reduzir o volume de água não facturado, de modo a ser possível garantir uma gestão sustentada do projecto de concessão.

Os SMAS de Cascais, no ano de 2000, lançaram no sistema 22 421 000 $m^3$ de água, tendo sido apenas possível facturar 62,8% deste volume.

Durante o ano de 2001, as fugas aumentaram ainda 1,7%, em relação ao ano anterior.

Em 2002, seria necessário haver uma "*redução de perdas e fugas*", na adução, armazenagem e distribuição, no valor de 9% para que o volume de água não facturado diminuísse para valores que permitiriam viabilizar o orçamento da empresa previsto para este ano.

Do ponto de vista técnico, reduzir em 9% o volume de perda de água num único ano é claramente um desafio para quem assume responsabilidades nesta matéria.

Quadro 48 – Alguns valores referentes a 2001

| | |
|---|---|
| Água produzida no sistema | 23 196 554 $m^3$ |
| Percentagem de perdas | 38,9 % |
| Água não facturada | 9 023 460 $m^3$/ano |
| Água perdida | 7 680 $m^3$/km ano<br>21 $m^3$/dia km<br>876 litros/hora |
| Valor de água perdida | 3 511 028 Euros<br>(≈ 700 000 contos) |
| Comprimento da rede | 1 175 km |

No âmbito do Planeamento Estratégico da empresa, foram definidos objectivos, indicadores, metas e acções.

A redução de perdas de água surge, assim, como uma das acções envolvidas na meta estratégica "*Redução de Custos Operacionais*", com o objectivo de "*Optimizar os Custos da Estrutura".*

A detecção de fugas e a sua monitorização são acções relacionadas com a meta da "*Redução de Percentagem de Perdas*" e englobadas no objectivo de *"Melhoria de Eficiência Operacional*".

### 10.1.3 Articulação entre o controlo de perdas e as outras áreas operacionais da entidade gestora

A redução de perdas de água envolveu sectores como o projecto de novas redes, a renovação de tubagens, a exploração do sistema e a sua manutenção.

Na Águas de Cascais a detecção de fugas relaciona-se com a exploração da rede, a adução e produção, o atendimento a clientes e o laboratório de água. A monitorização das fugas apoia-se na Gestão da Rede e no Planeamento e Controlo de Gestão da Empresa.

Uma acção de controlo de perdas tem necessariamente que também estar relacionada com a área Comercial. Além das fugas de água do sistema, há optimizações a fazer em todo o processo de medição e facturação de água a clientes.

O controlo de perdas de água insere-se na estratégia global da empresa de uma forma significativa. Envolve os vários sectores de uma forma horizontal, pelo que se torna fundamental desenvolver a comunicação interna entre todos os intervenientes no processo.

Ao reduzirmos as perdas de água no sistema, obtemos benefícios consideráveis na qualidade da água, no nível de atendimento a clientes, nos custos de manutenção e de compra de água e na satisfação dos nossos clientes e colaboradores.

## 10.2 Avaliação da dimensão do problema

O volume da água não facturado em 2002 (9 023 460 $m^3$) correspondia a 400 vezes o volume de água nas condutas, a 127 vezes a capacidade de reserva do sistema, a 111 vezes o dia de maior consumo ou a 4 vezes o mês de maior consumo. O valor desta água (3 511 028 euros) permitiria efectuar cerca de 10 400 reparações numa rede de diâmetro 100, o que corresponde a 2,2 vezes o orçamento global atribuído à Direcção de Manutenção.

Os dados da Figura 44 tornam clara a importância do projecto de controlo de perdas.

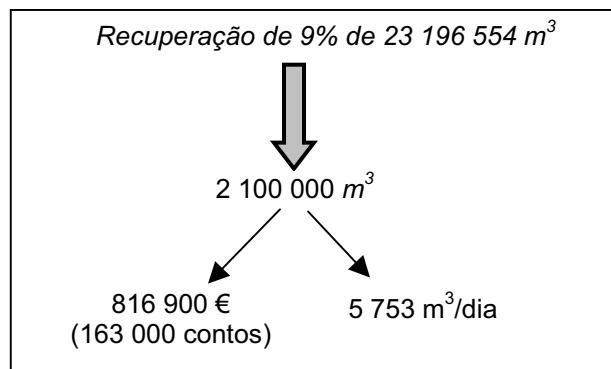



Figura 44 – Meta para 2002

## 10.3 Estratégia utilizada para controlo de perdas

São conhecidas várias tecnologias para a detecção de fugas mas que obrigam, de forma geral, a investimentos significativos e cujo período de implementação, pode durar vários meses, deixando pouco tempo para a execução das medidas que permitem redução rápida e efectiva das perdas de água.

Assim, de modo a obter rapidamente resultados, considerou-se conveniente aplicar de imediato uma metodologia que no essencial optimizasse os processos já existentes, com um combate a perdas visíveis em vez de se optar por uma solução tecnológica de maior complexidade, como por exemplo a sectorização da rede de distribuição.

Esta última solução seria implementada apenas numa segunda fase.

Assim concluiu-se que seria importante, de imediato:

- Reorganizar a Direcção de Exploração e dotá-la de uma "equipa de detecção de fugas" e de uma outra "equipa de apoio operacional à gestão da rede";
- definir um plano de acção para a redução de fugas;
- minimizar as perdas visíveis de água;
- melhorar procedimentos de medição e de facturação;
- envolver toda a empresa no projecto.

A equipa denominada "Apoio Operacional" deveria:

- Funcionar por turnos durante 24 horas/dia;
- ter pessoal com perfil adequado (bons conhecimentos da rede e motivação para o projecto);
- ter autonomia face às equipas de manutenção;
- ter prioridade nos fechos de água.

Foram definidos os seguintes objectivos para a equipa:

- Redução de caudais perdidos em roturas na rede de distribuição;
- vigilância do estado das válvulas do sistema;
- detecção de roubos de água;
- rapidez e controlo dos fechos e aberturas de água;
- apoio às equipas de manutenção;
- actualização da informação junto do Atendimento a Clientes.

Foi possível criar nesta equipa uma mentalidade de análise contínua de indicadores de gestão face à facilidade de obtenção de dados, situação inexistente anteriormente.

De posse dos indicadores (tempos de fecho de água, volumes estimados de caudais perdidos, localização de fugas, meios necessários e meios envolvidos), foi possível aos gestores do projecto efectuar um acompanhamento eficaz do processo, diligenciando e acompanhando sempre que necessário as acções correctivas.

O dinamismo criado também permitiu aumentar significativamente o rendimento da equipa móvel da detecção de fugas

O alargamento do SIG (Sistema de Informação Geográfica) ao Sector da Manutenção permitiu cadastrar todas as roturas da rede, clarificando os locais das intervenções (Figura 45).

Uma vez que o Contrato de Concessão prevê a renovação de 15 km de rede em cada ano, foram definidos os troços prioritários a substituir, eliminando-se deste modo as repetidas reparações em determinados locais da rede.

## 10.4 Intervenções para controlo de perdas

### 10.4.1 Técnicas de controlo de perdas

Tendo consciência que a estratégia anterior apenas se pode adaptar a uma primeira fase do projecto, houve que preparar desde logo as acções futuras, surgindo naturalmente a sectorização da rede de distribuição cujo objectivo era determinar os INP (índices nocturnos de perdas).

Figura 45 – Cadastro das roturas na rede

O planeamento desta tarefa, consistiu essencialmente em:

- Diagnóstico da rede e tratamento da informação base;

- redefinição das áreas de influência dos reservatórios;
- definição das zonas de medição e controlo (ZMC);
- pré-determinação de fugas nos sectores, com definição dos índices nocturnos de perdas;
- detecção e reparação das fugas;
- sistematização do processo.

A rede, com cerca de 1 200 km foi sectorizada em 41 ZMC. Esta tarefa envolveu um trabalho de campo sistemático e prolongado, com correcções de cadastro e substituição de válvulas, de modo a ser possível definir sectores cujas implicações na distribuição não fossem significativas em termos de caudal e pressão.

De notar que a rede de água de Cascais é essencialmente malhada, pelo que a sectorização não se apresentou simples, havendo necessidade de, após a definição de um sector, se proceder a ensaios no campo com medições de pressões nos locais críticos.

Vale de Cavalos foi o sector seleccionado para se iniciarem as medições de caudais nocturnos. O objectivo foi ganhar sensibilidade à metodologia a adoptar. Inicialmente, as leituras foram efectuadas pelo pessoal da equipa do apoio operacional e os dados trabalhados pela equipa de detecção de fugas. Posteriormente, foi utilizado um *datalogger*, com intervalos entre comunicações de 24 horas e período de integração de 5 minutos.

Com base nesta experiência, foi decidido equipar todos os sectores com contadores electromagnéticos associadas a um *logger* equipado com um sistema GSM, de forma que os dados pudessem ser enviados para o gabinete de detecção de fugas

Durante uma semana, uma empresa com experiência neste domínio auditou o trabalho da Águas de Cascais e confirmou, de forma geral, a metodologia do projecto.

A articulação com o Plano Geral de Abastecimento de Água deve ser objecto de atenção na definição das zonas de medição e controlo, a fim de prever alterações de médio prazo ao sistema.

A análise dos dados em histórico de cada zona de medição e controlo permitiu confirmar que cada zona é um caso particular e deve ser analisada face às suas características e não de forma genérica.

### 10.4.2 Técnicas e equipamentos de localização e detecção de fugas

Na obtenção de dados das zonas de medição e controlo foram utilizados:

- Contadores electromagnéticos, grau de protecção IP 68, com diâmetros entre DN 80 e DN 250, alimentados por baterias quando instalados na rede, ou ligados ao sistema de telegestão se colocados em câmaras de manobras dos reservatórios. Medidores de pressão de 0 a 10 bar;

- registadores de dados, grau de protecção IP 68 para caudais e pressões da rede, alimentados por bateria, com modem interno para transmissão de dados via GSM, e programas de computador de análise de dados e gestão automática das comunicações.

Este equipamento, permite calcular os índices nocturnos de perdas de cada zona e avaliar da necessidade de uma campanha específica de detecção de fugas na área da rede de distribuição a ele afecto.

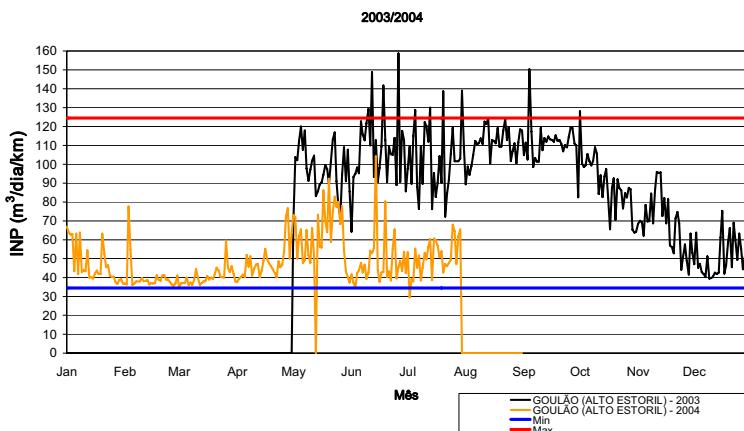



Figura 46 – Índice Nocturno de Perdas - ZMC Goulão (Alto Estoril), 2003/2004

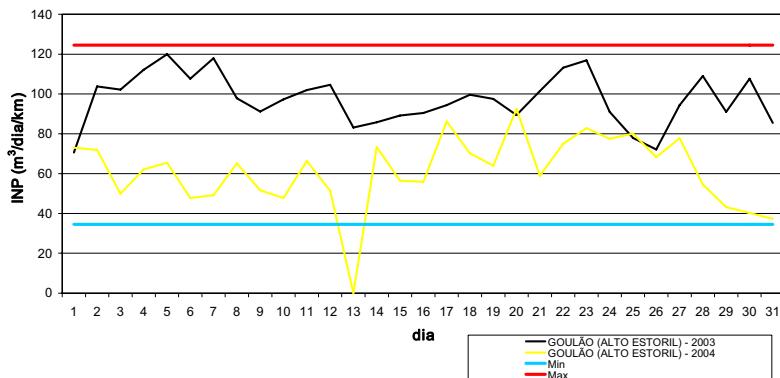



Figura 47 – Índice Nocturno de Perdas - ZMC Goulão (Alto Estoril), Maio 2004

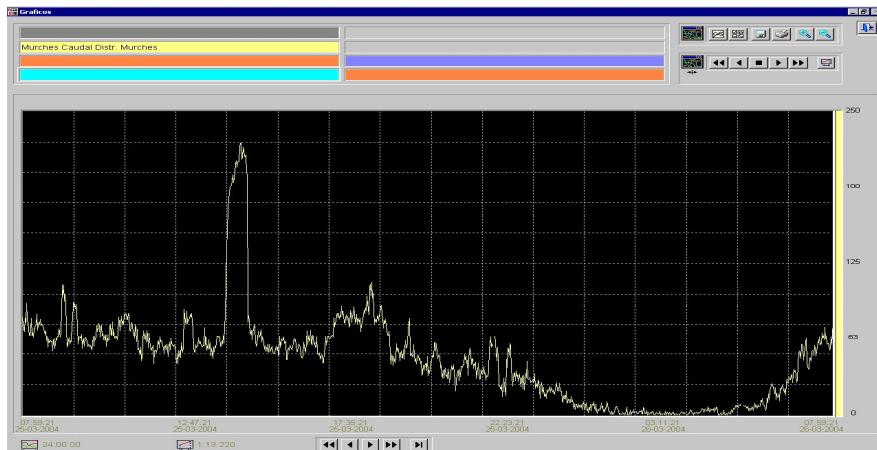



Figura 48 – Detecção de uma fuga na rede (Murches, 25-03-2004)

No âmbito da detecção de fugas, têm vindo a ser utilizados:

- *Datalogger* acústico para identificação da probabilidade de fuga. Os *datalogger* colocados em locais estratégicos da rede fornecem indicação da probabilidade da fuga. O *datalogger* regista as variações de amplitude dos ruídos da rede e compara-os com outros ruídos constantes, estes com probabilidade de serem uma fuga. Caso exista, a fuga localizar-se-á num raio de aproximadamente 150 m do equipamento que fez o registo;

- correlador acústico que com base nas indicações dos *datalogger* acústicos permite identificar com rigor considerável a localização de uma fuga de água. Associado a dois sensores, analisa o som da fuga que se propaga ao longo da rede com velocidade idêntica nos dois sentidos. O correlador mede a diferença de tempo do som entre a fuga e cada um dos dois sensores.

Com este equipamento é possível seleccionar, em cada zona de medição e controlo, os troços da rede com possibilidade de fuga de água e detectá-la com um rigor, em geral, inferior a 5 metros, função do tipo de fuga e do material da tubagem instalada.

Das 41 zonas de medição e controlo, foram seleccionados e equipados 30 sectores. Esta técnica permitiu a uma equipa de dois operadores inspeccionar, em média, 27 km de condutas por mês e detectar 181 fugas no primeiro semestre de 2004.

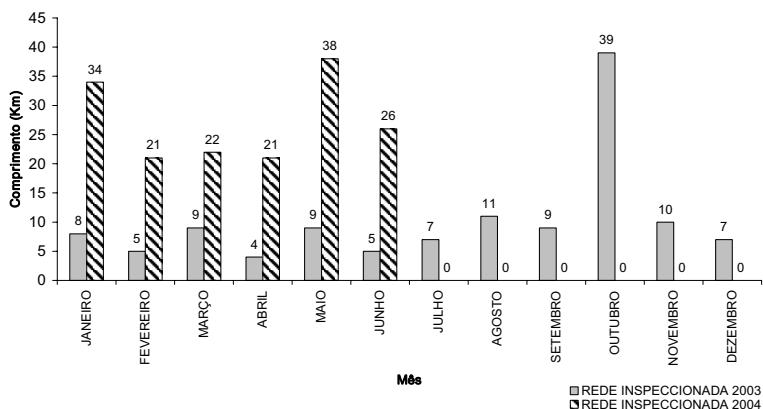



Figura 49 – Comprimento de rede inspeccionada

De notar que os conhecimentos práticos sobre a rede de distribuição que os elementos afectos ao Gabinete de Detecção de Fugas possuem são importantes para a interpretação dos dados fornecidos pelos equipamentos.

## 10.5 Aplicações computacionais

Para controlo das perdas de água, são utilizadas as seguintes aplicações informáticas:

- Sistema de informação Geográfica (*Frame*) que permite:

- Consulta e recolha de informação sobre as redes de água de abastecimento e de águas residuais domésticas;
- definição das ZMC e respectivos ensaios através da funcionalidade TRACE;
- registo de ocorrências na rede;
- actualização/alteração do cadastro.

▪ Telegestão (Citec) para recolha de informação sobre:
  - Volume de água comprado;
  - volume de água captado;
  - volume de água distribuído;
  - níveis dos reservatórios.

▪ *Software* Primayer (Phocus 2) para análise dos resultados dos *Loggers* Acústicos.

▪ Folhas de cálculo Microsoft® Excel® para tratamento de dados.

▪ Base de dados SQL para armazenamento e consulta de dados de informação.

## 10.6 Análise de resultados

### 10.6.1 Análise económica do controlo de perdas

De 2001 para 2002, na primeira fase da acção, previa-se um conjunto de medidas imediatas descritas na estratégia utilizada para controlo de perdas.

Em 2003, com a implementação da 2ª fase do projecto, foram realizados investimentos em equipamentos no valor de 261 720€.

As perdas de água nesse ano atingiram um valor de 27,1%, ou seja uma melhoria de 4,4% em relação a 2002. Com este resultado, foi possível adquirir menos água ao fornecedor, estimando-se o benefício correspondente em 341 300€.

O benefício total relativo aos 3 anos do projecto atingiu os 636 489€.

Quadro 49 – Análise económica do controlo de perdas

| | 2001 | 2002 | 2003 |
|---|---|---|---|
| Água aduzida ao sistema | 23 197 000 $m^3$ | 22 899 000 $m^3$ | 23 256 000 $m^3$ |
| Percentagem de perdas | 38,9% | 31,5% | 27,1% |
| Água não facturada | 9 023 460 $m^3$ | 7 213 173 $m^3$ | 6 302 376 $m^3$ |
| Água perdida | 7 680 $m^3$ / km ano | 6 041 $m^3$ / km ano | 5 252 $m^3$ / km ano |
| | 21 $m^3$ / dia km | 16 $m^3$ / dia km | 14 $m^3$ / dia km |
| | 876 litros / hora | 689 litros / hora | 600 litros / hora |
| Valor da água perdida | 3 511 028 euros<br>(≅ 700 000 contos) | 2 942 974 euros<br>(≅ 590 000 contos) | 2 601 620 euros<br>(≅ 522 000 contos) |

## 10.6.2 Balanço final comentado

A má gestão da água associada à problemática do ambiente, as consequências sobre a qualidade da água na distribuição, a garantia de continuidade no fornecimento e os custos associados à manutenção do sistema de água tornam, naturalmente, a redução de perdas como uma área estratégica de uma entidade gestora de um sistema de distribuição de água.

A reorganização operacional da empresa pode, por si só, trazer, a curto prazo, benefícios significativos, sem necessidade de investimentos. Numa segunda fase, há que recorrer a equipamento específico para se conseguir dar continuidade a um projecto de redução de perdas no sistema. Se for devidamente utilizado, este investimento é rapidamente amortizado.

Como tal, a aquisição do equipamento deve ser devidamente ponderado. Não se afigura correcto, por exemplo, pensar em definir e equipar ZMC sem um cadastro da rede de distribuição capaz, em permanente actualização e disponível para utilização pelos elementos da empresa afectos à exploração do sistema.

A comunicação horizontal entre os vários sectores da empresa surge como uma necessidade, muitas vezes não conseguida mas à qual pode ser necessário dar uma atenção especial.

De notar que, também nesta área, o factor humano é fundamental, pois dados fornecidos pelo melhor equipamento não trarão qualquer benefício se forem indevidamente tratados. Por isso, a motivação das equipas afectas à detecção de fugas deve ser objecto de atenção, mantendo os colaboradores permanentemente envolvidos nas várias etapas do projecto.

Uma acção da redução de perdas de água deverá ser completada com outra relacionada com melhorias na facturação, sendo este outro tema importante a desenvolver.

# 11. O CASO DE GAIA

## 11.1 Descrição geral

### 11.1.1 Perfil do operador

O sistema de abastecimento de Gaia é operado pela Águas de Gaia, S.A.. O Quadro 50 apresenta a informação que caracteriza o perfil deste operador.

Quadro 50 – Perfil do operador do sistema de abastecimento de Gaia

| | |
|---|---|
| Modelo institucional | ☐ Serviços Municipalizados<br>☐ Serviços Municipais<br>☐ Empresa Pública<br>☒ Empresa Municipal<br>☐ Concessão |
| Tipo de actividade | ☒ Abastecimento público de água<br>☒ Saneamento de águas residuais urbanas<br>☐ Gestão de resíduos sólidos urbanos |
| Dimensão do operador (valores de 2003) | Volume de negócios: $24,127 \times 10^6$ €/ano |
| | Volume médio diário de água entrada no sistema: 60 634 $m^3$/dia |
| | Número total de empregados: 328 |
| | Número total de clientes registados: 129 740 |
| | Comprimento total de condutas de adução e distribuição (excluindo os ramais de ligação) 1324 km |
| Tipo de sistema | ☒ Adução<br>☒ Distribuição<br>(ver Figura 50) |

### 11.1.2 Motivação específica para as acções de controlo de perdas

A redução das perdas de água constitui um importante objectivo de qualquer entidade gestora de um sistema de abastecimento de água, tanto por razões económico-financeiras como ambientais. Do ponto de vista económico-financeiro, a perda de água traduz-se numa perda de proveitos para a entidade gestora, a qual é

penalizadora das tarifas a praticar. Do ponto de vista ambiental, reduzir as perdas de água significa diminuir o desperdício de um recurso globalmente escasso. Embora, actualmente, este problema não se coloque à entidade gestora Águas de Gaia, EM face à disponibilidade de água na origem e ao potencial de captação instalado (captações da Águas do Douro e Paiva, SA no Rio Douro) constitui sempre um bom princípio ambiental a utilização parcimoniosa dos recursos hídricos existentes. Confrontada há alguns anos com uma elevada percentagem de água não facturada (47,2% em 1998), a Águas de Gaia, EM empreendeu uma estratégia activa de redução dos consumos autorizados não facturados, das perdas aparentes e, em particular, das perdas reais de água, perseguindo o objectivo de a colocar no mais curto prazo possível ao nível das melhores empresas do sector a nível internacional.

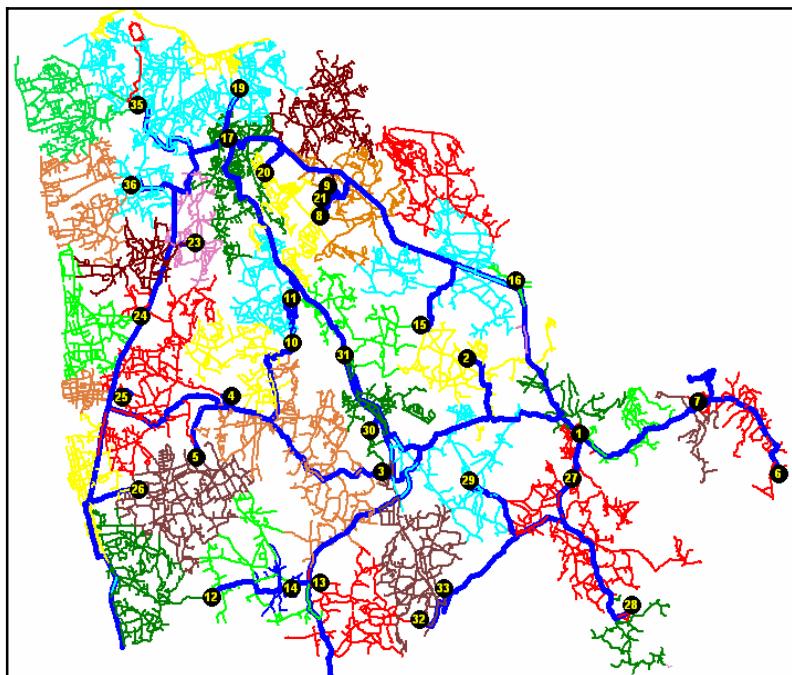



Figura 50 – Sistema de abastecimento de água gerido pela Águas de Gaia, EM. Adutoras, reservatórios e redes de distribuição

### 11.1.3 Articulação entre o controlo de perdas e as outras áreas operacionais da entidade gestora

Os sectores envolvidos no controlo de perdas são os seguintes: Centro de Atendimento Permanente, Direcção de Águas de Abastecimento, Equipa de Detecção de Fugas, Laboratório de Contadores, Encarregado Geral e Piquete.

A par de outras tarefas, como por exemplo a recepção das participações de fugas e correspondente encaminhamento para o piquete de serviço, o Centro de Atendimento Permanente (CAP) vigia a monitorização (e comparação automática com valores de referência) dos volumes horários de água aduzidos às redes por cada um dos reservatórios do sistema de abastecimento. Os alertas resultantes de desvios superiores aos admissíveis são avaliados pelo CAP e, se julgado necessário, transmitidos ao piquete para que este dê imediato início às tarefas de localização visual da eventual fuga.

Em articulação com o CAP, a Direcção de Águas de Abastecimento (DAA) observa e avalia diariamente os caudais mínimos e os consumos diários de todos os reservatórios do sistema. Esta avaliação, ponderada com outros indicadores, contribui para o estabelecimento de prioridades à Equipa de Detecção de Fugas (EDF) que, com recurso a equipamentos acústicos, percorre as redes de distribuição em pesquisa das fugas que escapam à detecção visual.

No âmbito do controlo de perdas (aparentes), o Laboratório de Contadores realiza ensaios a contadores usados de modo a estimar, por fabricante e idade, o desvio de medição dos contadores instalados nos locais de consumo dos clientes do sistema de abastecimento de água.

Quando a fuga resulta de uma ruptura ou avaria que o piquete não pode solucionar é participada ao Encarregado Geral para que este proceda às diligências necessárias à sua reparação definitiva da causa da fuga.

## 11.2 Avaliação da dimensão do problema

A avaliação das perdas é feita através da:

- Elaboração do Balanço Hídrico do sistema de abastecimento de água gerido pela Águas de Gaia, EM (Quadro 51).

- Quantificação de indicadores de desempenho relativos a perdas de água e a água não facturada globais, isto é, respeitantes à totalidade do sistema gerido pela Águas de Gaia, EM, em 2003:
    - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (WR1): 14,81% (Quadro 51);
    - água não facturada, por volume (Fi46): 19,03% (Quadro 51);
    - água não facturada, por custo (Fi47): 9,66% (Quadro 52);
    - índice infra-estrutural de fugas (Op29): 2,4 (Quadro 53).
- Quantificação de indicadores de desempenho relativos a perdas de água e a água não facturada por redes de distribuição, ou ZMC no caso das redes de maior dimensão tirando partido da medição contínua dos volumes de água entregues pelos reservatórios às respectivas redes de distribuição e da existência de um sistema de informação geográfica com o cadastro destas e os locais de consumo. Esta é ainda uma metodologia em implementação visto que algumas das redes de distribuição estão separadas por válvulas limite de zona abertas, não sendo ainda possível medir as transferências de água.

Adoptou-se a seguinte metodologia de controlo activo de perdas:

- Monitorização dos volumes horários aduzidos às redes de distribuição por cada um dos reservatórios do sistema e comparação com valores de referência (média móvel das últimas quatro semanas para cada hora e dia da semana) (Figura 51). Esta vigilância visa a detecção precoce de fugas importantes (devidas a rupturas, abertura de hidrantes, etc.) de modo a iniciar o mais rapidamente possível a respectiva localização (se possível antes das participações chegarem ao CAP).
- Observação e registo dos caudais mínimos e dos volumes diários aduzidos pelos reservatórios às respectivas redes de distribuição. A visualização gráfica destes registos permite detectar fugas não declaradas (ver Figura 52 onde as subidas dos caudais mínimos e dos volumes diários totais denunciam o aparecimento e a demora na localização de fugas, observando-se ainda que a reposição dos valores habituais ocorre após a localização e reparação). Esta análise, ponderada com outros indicadores de desempenho das redes relativos às perdas, permite estabelecer prioridades à Equipa

de Detecção de Fugas munida de dispositivos de detecção acústica.

Quadro 51 – Balanço hídrico, em 2003, do sistema de abastecimento de água gerido pela Águas de Gaia, EM.

| AGEM - Balanço Hídrico de 2003 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **A** | **B** | **C** | **D** | **E** |
| **(A3) Água entrada no sistema = Água tratada importada ($m^3$)** 22,131,287 100.00% | **(A14) Consumo autorizado ($m^3$)** 18,461,194 83.42% | **(A10) Consumo autorizado e facturado ($m^3$)** 17,920,415 80.97% | (A8) Consumo facturado medido (incluindo água exportada) ($m^3$) 17,025,750 76.93% | **(A20) Água facturada ($m^3$)** 17,920,415 80.97% |
| | | | (A9) Consumo facturado não medido ($m^3$) 894,665 4.04% | |
| | | **(A13) Consumo autorizado não facturado ($m^3$)** 540,779 2.44% | (A11) Consumo não facturado medido ($m^3$) 0 0.00% | **(A21) Água não facturada ($m^3$)** 4,210,872 19.03% (Fi46) |
| | | | (A12) Consumo não facturado não medido ($m^3$) 540,779 2.44% | |
| | **(A15) Perdas de água ($m^3$)** 3,670,093 16.58% | **(A18) Perdas aparentes ($m^3$)** 392,794 1.77% | (A16) Consumo não autorizado ($m^3$) 28,908 0.13% | |
| | | | (A17) Perdas de água por erros de medição ($m^3$) 363,886 1.64% | |
| | | **(A19) Perdas reais ($m^3$)** 3,277,299 14.81% (WR1) | (A19_adut+dist) Fugas nas condutas de adução e distribuição ($m^3$) 852,223 3.85% | |
| | | | (A19_reservatórios) Fugas e extravasamentos nos reservatórios ($m^3$) 167,046 0.75% | |
| | | | (A19_ramais) Fugas em ramais ($m^3$) 2,258,030 10.20% | |

Quadro 52 – Cálculo do indicador de desempenho económico-financeiro *Fi47*, em 2003

| | Volume | Valor unitário | Valor | Valor/Custos correntes anuais |
|---|---|---|---|---|
| | m$^3$/ano | €/m$^3$ | €/ano | |
| Custos correntes anuais | | | 18,204,589 | |
| Consumo autorizado não facturado | 540,779 | 0.915 | 494,813 | 2.72% |
| Perdas aparentes | 392,794 | 0.915 | 359,406 | 1.97% |
| Perdas reais | 3,277,299 | 0.276 | 904,535 | 4.97% |
| Água não facturada | 4,210,872 | | 1,758,754 | 9.66% (*Fi47*) |

Quadro 53 – Cálculo do Índice Infra-estrutural de Fugas *Op29*, em 2003

**AGEM - Índice Infraestrutural de Fugas (IIF = *Op29*) - 2003**

| | |
|---|---|
| A = | 18 |
| B = | 0.7 |
| C = | 25 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Hidrantes | 13236 | ramais | 10.00 | ramais/km |
| Portas | 61808 | ramais | 46.70 | ramais/km |
| Total ($N_C$) | 75044 | ramais | 56.70 | ramais/km |

$L_m$ = 1323.6 km

P (pressão média) = 43 m.c.a.

| Ramais de hidrantes | | |
|---|---|---|
| Comp. médio ramal = | 0.004 | km |
| $L_p$ (km) = | 52.9 | km |

| Ramais de portas | | |
|---|---|---|
| Comp. médio ramal = | 0.006 | km |
| $L_p$ (km) = | 370.8 | km |

| Todos os ramais | | |
|---|---|---|
| Comp. médio ramal = | 0.00565 | km |
| $L_p$ (km) = | 423.8 | km |

UARL = 49.82 Lt/dia/ramal

Perdas inevitáveis = 1,364,687 m$^3$/ano

IIF = TIRL / UARL

Perdas reais = 3,277,299 m$^3$/ano

TIRL = 119.65 Lt/dia/ramal

IIF = 2.4

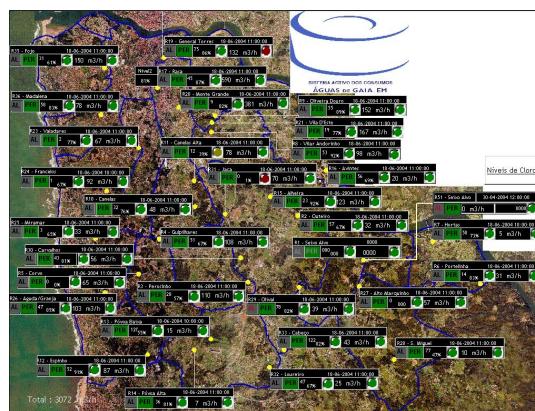



Figura 51 – Janela principal da aplicação informática que monitoriza os volumes horários aduzidos pelos reservatórios, reservas de abastecimento e concentrações de cloro.

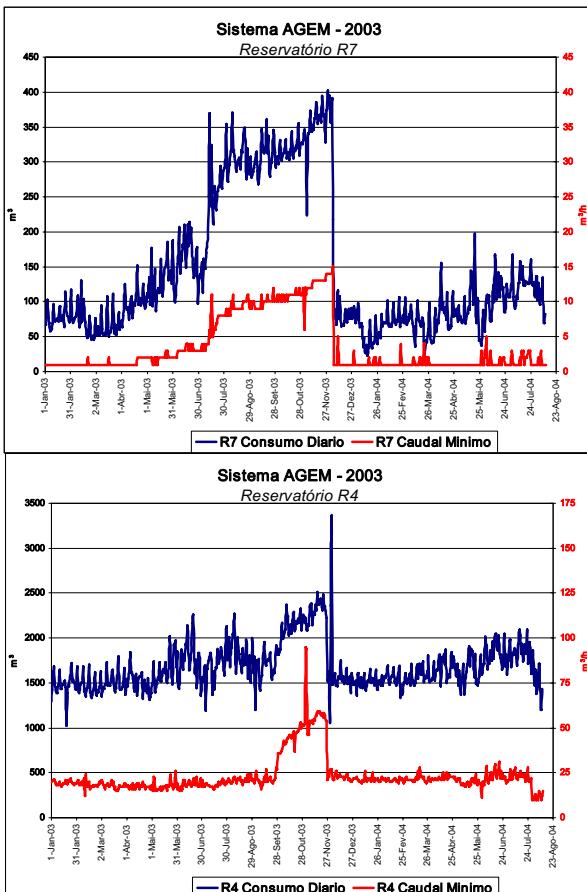



Figura 52 – Exemplo de consumos diários e caudais mínimos das redes de distribuição alimentadas pelos reservatórios R4 e R7

## 11.3 Estratégia utilizada para controlo de perdas

A metodologia anteriormente descrita visa materializar uma estratégia de controlo e redução de perdas de água assente em dois vectores:

- Detecção precoce, rápida localização e imediata reparação ou isolamento da causa das fugas; aplica-se àquelas fugas cuja dimensão propicia a detecção visual ou o alerta através da monitorização dos volumes horários;

- detecção de fugas não declaradas através da monitorização e visualização gráfica de consumos diários e caudais mínimos das redes de distribuição, análise dos respectivos indicadores de desempenho (a implementar) e pesquisa (localização) com o auxílio de equipamentos de detecção acústica.

Em simultâneo, tem-se procedido à renovação de condutas, reparação e/ou substituição de elementos acessórios das redes, redução de leituras por estimativa, substituição de contadores antigos, substituição de bocas de incêndio por marcos de água (para dificultar os consumos não autorizados), etc.

## 11.4 Intervenções para controlo de perdas

### 11.4.1 Técnicas de controlo de perdas

Monitorização (medição e registo) dos volumes horários:

- Telemetria dos volumes horários aduzidos às redes de distribuição por cada um dos reservatórios do sistema de abastecimento;
- comparação com os valores horários de referência dos consumos e das reservas de abastecimento (média móvel das últimas quatro semanas para cada hora, dia da semana e reservatório);
- quantificação e registo dos caudais mínimos e dos volumes diários aduzidos por cada reservatório;
- visualização gráfica conjunta dos caudais mínimos e volumes totais, por reservatório (ver Figura 52);

As três primeiras tarefas são executadas automaticamente por uma aplicação informática desenvolvida pelo Gabinete de Inovação e Desenvolvimento (GID) da Águas de Gaia, EM (ver detalhe em "Aplicações Computacionais").

Pesquisa (detecção e localização) acústica de fugas não declaradas (ver detalhe em "Técnicas e equipamentos de localização e detecção de fugas").

Estimação das perdas aparentes geradas por erro de medição dos contadores:

- Ensaio laboratorial de contadores usados de modo a estimar, por fabricante e tempo de vida, o desvio de medição dos contadores instalados nos locais de consumo dos clientes.

### 11.4.2 Técnicas e equipamentos de localização e detecção de fugas

A detecção e localização acústica de fugas é feita com recurso a:

- *Dataloggers* Phocus2 da Primayer, para a detecção de fugas (Figura 53);
- correlador de ruído de fugas *AquaCorr+* da Casella Spectrascan, para a localização de fuga em conduta previamente determinada com a técnica anterior (Figura 54 e Figura 55).

A Equipa de Detecção de Fugas (EDF) percorre as condutas distribuidoras instalando *dataloggers* e analisando, com o auxílio da aplicação informática fornecida pelo fabricante, as leituras do período nocturno (2h-4h). Quando estas leituras indiciam a presença de uma fuga num determinado trecho de conduta, a EDF estima a respectiva localização com o correlador de ruído de fugas.

Figura 53 – *Dataloggers* Phocus2 da Primayer: mala de transporte e comunicação com os *dataloggers*; colocação de um *datalogger* sobre uma válvula de seccionamento.

Figura 54 – Correlador AquaCorr+ da Casella Spectrascan: unidade de processamento junto da mala de transporte; colocação de um dos microfones sobre uma válvula de seccionamento.

Figura 55 – Correlador AquaCorr+ da Casella Spectrascan: colocação de outro microfone sobre uma válvula de seccionamento; leitura, na unidade de processamento, da posição estimada para a fuga.

## 11.5 Aplicações computacionais

A aplicação informática desenvolvida pelo GID da Águas de Gaia, EM para a monitorização dos consumos horários tem uma janela principal (Figura 51) onde consta a seguinte informação, por reservatório:

- Alerta de intrusão;
- alerta de perda de comunicação com o reservatório;
- informação, em percentagem da capacidade máxima, do volume de água existente no reservatório;
- informação do número previsível de horas de reserva de abastecimento (correspondente à água existente no reservatório);

- alerta luminoso (em dois níveis: amarelo e vermelho) de desvio (para menos) do número de horas de reserva de abastecimento relativamente aos valores de referência (média móvel das últimas quatro semanas para cada hora e dia da semana);
- informação do volume de água aduzido à rede na última hora;
- alerta luminoso (em dois níveis: amarelo e vermelho) de desvio (para mais) do consumo relativamente aos valores de referência (média móvel das últimas quatro semanas para cada hora e dia da semana);
- concentração de cloro;

Esta aplicação tem outras funcionalidades, entre as quais se referem as seguintes:

- Representação gráfica, por reservatório, do consumo horário e dos valores máximos, mínimos e médios das últimas quatro semanas, para cada hora e dia da semana (Figura 56);
- representação gráfica, por reservatório, da variação horária da reserva de abastecimento e da respectiva linha de tendência (Figura 57);
- representação gráfica, por reservatório, da variação horária da concentração de cloro (Figura 58).

## 11.6 Análise de resultados

### 11.6.1 Análise económica do controlo de perdas

A perspectiva económico-financeira da água não facturada (que inclui as perdas de água) pode ser traduzida pelos indicadores *Fi46* e *Fi47*.

O indicador *Fi46* representa, em termos de volume, a percentagem da água não facturada relativamente à entrada no sistema de abastecimento (19,03% em 2003) (ver Quadro 51).

O indicador *Fi47* exprime, em percentagem dos custos correntes anuais, o valor (custo) anual da água sem proveito, isto é, não facturada (9,66% em 2003). Para a formação deste valor contribuem os custos das três parcelas da água não facturada: consumo autorizado não facturado, perdas aparentes e perdas reais. No cálculo do custo das duas primeiras considera-se o preço unitário médio cobrado aos consumidores (0,915 €/$m^3$) e para o custo da terceira parcela o preço unitário praticado na aquisição da água (0,276 €/$m^3$). (ver Quadro 52).

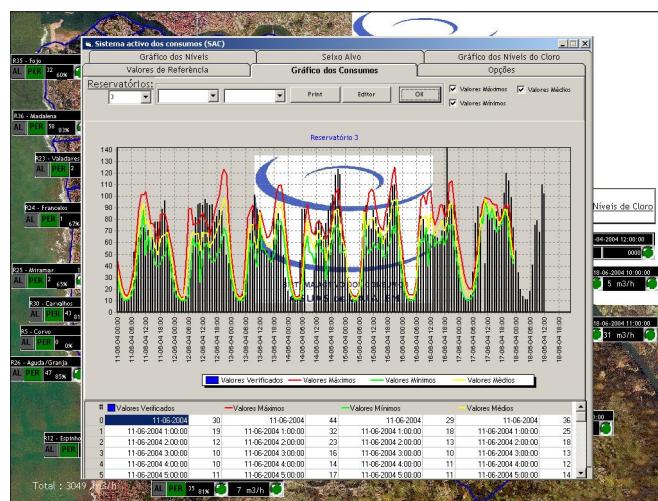



Figura 56 – Representação gráfica do consumo horário e dos valores máximos, mínimos e médios das últimas quatro semanas, para cada hora e dia da semana.

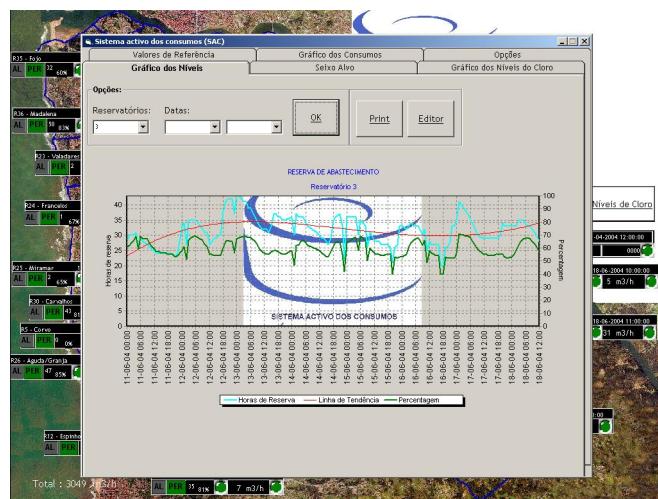



Figura 57 – Representação gráfica da variação horária da reserva de abastecimento e da respectiva linha de tendência.

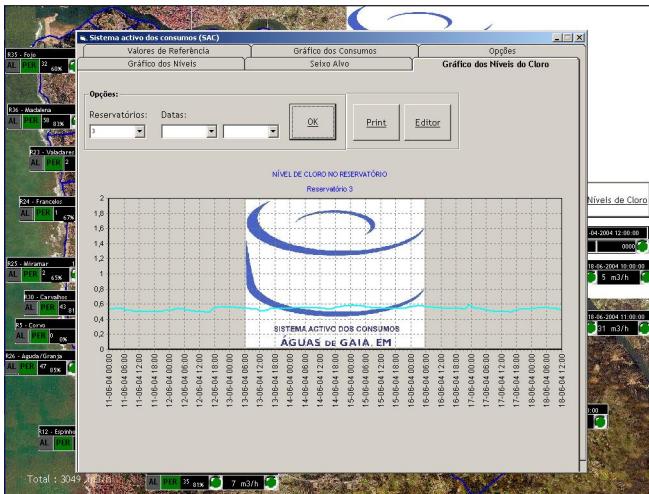



Figura 58 – Representação gráfica da variação horária da concentração de cloro.

### 11.6.2 Balanço final comentado

Outros indicadores de qualidade do serviço e de qualidade da água, directa ou indirectamente relacionados com as perdas de água, são os seguintes:

- Reclamações e/ou participações relacionadas com perdas de água, em 2003:
  - Ligações directas: 70
  - Fugas de água em bocas-de-incêndio: 234
  - Fugas de água na via pública: 1135
  - Fugas de água em contadores: 1 662
  - Cortes de água: 463
  - Sem pressão: 441
  - Pavimento abatido: 298
  - Contadores encravados: 100
  - Total: 4403 (33,9 por cada 1 000 clientes)
- Reparação de ramais, em 2003:
  - Total: 665 (5,1 por cada 1 000 clientes)
  - Reparados em menos de 3 dias: 644 (96,8%)
- Reparação de bocas de incêndio, em 2003:
  - Total: 171
  - Reparados em menos de 3 dias: 163 (95,3%)

- Manutenção de contadores, em 2003:
  - Entregues para reparação: 10 506 (81,0 por cada 1 000 clientes)
  - Contadores reparados: 10 570 (81,5 por cada 1 000 clientes)
- Grandes avarias (cortes de água), em 2003:
  - Cortes de água: 917
  - Cortes de água com duração superior a 6 horas: 1
- Controlo analítico da qualidade da água, em 2003:
  - Amostras recolhidas: 1 926
  - Análises efectuadas: 19 251
  - Análises com resultado superior ao VMA: 0

Em termos de conclusão, pode dizer-se que o patamar de perdas de água atingido é muito satisfatório. A partir deste ponto, os ganhos de eficiência na utilização da água importada exigirão uma maior compartimentação do controlo das perdas de modo a identificar melhor, num sistema tão vasto, as partes com pior desempenho. O primeiro passo nesse sentido será o de assegurar a medição das transferências de água entre redes para que os respectivos balanços hídricos e indicadores de desempenho constituam uma interpretação mais rigorosa da realidade. Complementarmente, e para as redes de maior dimensão, será de apostar na delimitação de zonas de medição e controlo com um número de consumidores compreendido entre os dois e os cinco mil e na avaliação das respectivas perdas reais com base no estudo dos caudais nocturnos.

# 12. O CASO DE LISBOA

## 12.1 Descrição geral

### 12.1.1 Perfil do operador

O sistema de abastecimento de Lisboa é operado pela EPAL– Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.. O Quadro 54 apresenta a informação que caracteriza o perfil deste operador.

Quadro 54 – Perfil do operador do sistema de abastecimento de Lisboa

| | |
|---|---|
| Modelo institucional | ☐ Serviços Municipalizados<br>☐ Serviços Municipais<br>☒ Empresa Pública<br>☐ Empresa Municipal<br>☐ Concessão |
| Tipo de actividade | ☒ Abastecimento público de água<br>☐ Saneamento de águas residuais urbanas<br>☐ Gestão de resíduos sólidos urbanos |
| Dimensão do operador (valores de 2003) | Volume de negócios: $75x10^6$ €/ano |
| | Volume médio de água entrada no sistema: $124,6x10^6$ $m^3$/ano |
| | Número total de empregados: 451 |
| | Número total de clientes registados: 336 401 |
| | Comprimento total de condutas de adução e distribuição (excluindo os ramais de ligação): 1 406 km |
| Tipo de sistema | ☐ Adução<br>☒ Distribuição |

### 12.1.2 Motivação específica para as acções de controlo de perdas

As principais razões para as acções de controlo de perdas são as seguintes:

- Rede de distribuição com uma idade média muito elevada;
- órgãos e ligações da rede sem manutenção preventiva;
- em 2000, a água perdida na distribuição foi $39,7x10^6$ $m^3$/ano;

- elevado número de reparações obrigando a suspensão de abastecimento.

### 12.1.3 Articulação entre o controlo de perdas e as outras áreas operacionais da entidade gestora

O controlo de perdas envolve a colaboração das seguintes áreas operacionais da entidade gestora:

- Projecto de Renovação de Rede - Desenvolvimento de acções estruturantes para controlo das Perdas Físicas (Renovação e Reabilitação de Rede e Auditorias para detecção de fugas em Grandes condutas) e Perdas Aparentes ou Económicas (Plano de substituição preventiva de contadores, auditorias em grandes espaços verdes e urbanos para eliminar consumos clandestinos).
- Manutenção da Rede/ Detecção de Fugas – Auditorias em ZMC para eliminar perdas Físicas.
- Clientes Directos/ Assistência Técnica Local – Auditorias em locais vagos ou sem contador para eliminar perdas económicas.

## 12.2 Avaliação da dimensão do problema

Como metodologia para avaliação do problema aplicaram-se as sugestões do manual do IWA, nomeadamente, o cálculo do balanço hídrico (Quadro 55), tendo sido repartido o problema das perdas pelas possíveis diversas origens de forma a avaliar o tipo e a amplitude das acções a desenvolver:

**Indicadores de desempenho utilizados em 2000:**

- Perdas globais na distribuição – $39{,}7 \times 10^6$ $m^3$/ano
- Roturas em condutas – 1 433
- Roturas em ramais – 4 430

**Resultados obtidos no final de 2003:**

- Perdas globais na distribuição - $30{,}5 \times 10^6$ $m^3$/ano
- Roturas em condutas – 906
- Roturas em ramais – 4 016

Os indicadores de desempenho recomendados pela IWA, calculados para o ano de 2003, constam do Quadro 56.

## Quadro 55 – Balanço hídrico (ano de 2003)

Unidade: m³

<table>
<tr><td rowspan="10">Agua entrada no sistema<br>124 606 438</td><td rowspan="4">Consumo autorizado<br>94 960 152 76.2%</td><td rowspan="2">Consumo autorizado facturado<br>94 060 152 75.5%</td><td>Consumo facturado medido (Incluindo água exportada)<br>92 464 311 74.2%</td><td rowspan="2">Água Facturada<br>94 060 152 75.5%</td></tr>
<tr><td>Consumo facturado não medido<br>1 595 842 1.3%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Consumo autorizado não facturado<br>900 000 0.7%</td><td>Consumo não facturado medido<br>50 718 0.0%</td><td rowspan="8">Água não Facturada<br>(perdas comerciais)<br>30 546 286 24.5%</td></tr>
<tr><td>Consumo não facturado não medido<br>849 282 0.7%</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Perdas de Água<br>(Água captada não fornecida)<br>29 646 286 23.8%</td><td rowspan="2">Perdas aparentes<br>10 000 000 8.0%</td><td>Consumo não autorizado<br>0.0%</td></tr>
<tr><td>Perdas de água por erros de medição<br>0.0%</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Perdas reais<br>19 646 286 15.8%</td><td>Perdas reais nas condutas de Água bruta e no tratamento (quando aplicável)<br>0.0%</td></tr>
<tr><td>Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição<br>14 441 586 11.6%</td></tr>
<tr><td>Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição<br>2 656 184 2.1%</td></tr>
<tr><td>Fugas nos ramais (a montante do ponto de medição)<br>2 548 515 2.0%</td></tr>
</table>

## Quadro 56 – Indicadores de desempenho (ano de 2003)

| Código | Indicador | Unidade | Valor |
|---|---|---|---|
| Wr1 | Ineficiência de utilização dos recursos hídricos | % | 15,77 |
| Op 23 | Perdas de Água | m3/ramal/ano | 318,8 |
| Op25 | Perdas Aparentes | % | 10,61 |
| Op27 | Perdas Reais | litro/ramal/dia | 578,8 |
| Op29 | Índice infra-estrutural de fugas | Relação das perdas reais (Op27) com as perdas reais mínimas | 11,84 |
| Fi46 | Água não facturada por volume | Volume de água não facturado em % da água entrada no sistema | 24,5 |
| Fi 47 | Água não facturada por custo | Volume de água não facturada em % dos custos correntes afectos ao sistema durante o período de referência | 30,2 |

## 12.3 Estratégia utilizada para controlo de perdas

A estratégia compreendeu as seguintes acções:

a) Renovação e reabilitação de rede da cidade de Lisboa em zonas com:

- Número elevado de roturas por km/ano;
- materiais em FC e FF;
- ramais de chumbo.

b) Auditorias em grandes espaços verdes e urbanos e pontos de entrega nas áreas de intervenção para:

- Eliminar ramais clandestinos;
- controlar consumos não medidos e não facturados;
- melhoria de ponto de entrega.

c) Auditorias em grandes condutas e em zonas de medição e controlo:

- Órgãos de manobra;
- detecção de fugas visíveis e invisíveis;
- estudo de pressões na rede.

d) Substituição preventiva e redimensionamento de contadores

e ) Redução dos volumes de submedição

## 12.4 Intervenções para controlo de perdas

### 12.4.1 Técnicas de controlo de perdas

As técnicas de controlo de perdas incluíram:

- Reabilitação e renovação da rede de distribuição e respectivos ramais domiciliários;
- auditorias em grandes espaços verdes;
- auditorias em grandes espaços urbanos;
- auditorias em pontos de entrega;
- auditorias de detecção de fugas em grandes condutas;
- auditorias de detecção de fugas em zonas de medição e controlo;

- desenvolvimento de sistemas de informação para cruzamento de dados sobre volumes facturados e volumes fornecidos – balanço hídrico.

### 12.4.2 Técnicas e equipamentos de localização e detecção de fugas

As técnicas e equipamentos usados para detecção de fugas foram os seguintes:

- *Loggers* de pré localização de fugas (Permalogs)
- Detectores acústicos
- Aparelhos de correlação acústica

Podem citar-se ainda outras técnicas:

- Telemetria em ZMC, caudais mínimos nocturnos, balanço hídrico por ZMC e desenvolvimento de acções para eliminar as perdas reais e as perdas aparentes;
- Telemetria em clientes chave – Pesos dos grandes consumos no caudal mínimo nocturno em ZMC e avaliação dos volumes submedidos e redimensionamento dos contadores por ponto de entrega.

## 12.5 Aplicações computacionais

Para controlo das perdas de água, são utilizadas as seguintes aplicações informáticas:

- SIG – Sistema de Informação Geográfica relativo às infra-estruturas de abastecimento de água;
- SIGC – Subsistema de Informação de Gestão de Clientes para apuramento dos volumes facturados;
- Telemetria em ZMC para apuramento dos volumes utilizados
- CAMPZ – Inventário dos resultados obtidos por campanha de detecção de fugas efectuado em ZMC;
- SIM (em desenvolvimento) – sistema para apuramento de perdas na cidade e repartição nos diversos patamares hidráulicos (cidade, zona de abastecimento, área de abastecimento e ZMC) com a indicação da sua provável origem.

## 12.6 Análise de resultados

### 12.6.1 Análise económica do controlo de perdas

Obtiveram-se os seguintes resultados:

- Custo total das perdas de água (ano 2000) = 39,7 $Mm^3$/ano*0,325 Eur/$m^3$ = 12,94 milhões de Euros
- Custo total das perdas de água (ano 2001) = 37,0 $Mm^3$/ano * 0,325 Eur/$m^3$ = 12,03 milhões de Euros
- Custo total das perdas de água (ano 2002) = 32,0 $Mm^3$/ano * 0,325 Eur/$m^3$ = 10,40 milhões de Euros
- Custo total das perdas de água (ano 2003) = 30,5 $Mm^3$/ano * 0,325 Eur/$m^3$ = 9,91 milhões de Euros

Verificou-se uma recuperação de 6,48 milhões de Euros nos três últimos anos.

Os indicadores *Fi46* e *Fi47* apresentados no Quadro 56 traduzem também a perspectiva económico-financeira.

### 12.6.2 Balanço final comentado

Registou-se a seguinte evolução entre 2000 e 2003:

- Redução em 37% do número de roturas em condutas;
- Redução em 9% do número de roturas em ramais;
- Redução em 23% do volume de água perdida na distribuição ($-9,2x10^6$ $m^3$/ano);
- Redução dos volumes de água fornecida não medida e não facturada;
- Redução dos volumes submedidos.

No futuro, considera-se relevante para o programa de controlo de perdas, o desenvolvimento de sistemas de informação que cruzem, em tempo útil, dados que permitam avaliar a amplitude do problema de perdas e indiquem a origem do mesmo, de forma a que o seu combate seja o mais eficaz.

# 13. O CASO DE MAFRA

## 13.1 Descrição geral

### 13.1.1 Perfil do operador

O sistema de abastecimento de Mafra é operado pela Compagnie Générale des Eaux. O Quadro 57 apresenta a informação que caracteriza o perfil deste operador.

Quadro 57 – Perfil do operador do sistema de abastecimento de Mafra

| | |
|---|---|
| Modelo institucional | ☐ Serviços Municipalizados<br>☐ Serviços Municipais<br>☐ Empresa Pública<br>☐ Empresa Municipal<br>☒ Concessão |
| Tipo de actividade | ☒ Abastecimento público de água<br>☐ Saneamento de águas residuais urbanas<br>☐ Gestão de resíduos sólidos urbanos |
| Dimensão do operador (valores de 2003) | Volume de negócios: 6,9 x $10^6$ €/ano |
| | Volume de água entrada no sistema: 5,659x$10^6$ $m^3$/ano |
| | Número total de empregados: 71 |
| | Número total de clientes registados: 32 079 |
| | Comprimento total de condutas de adução e distribuição (excluindo os ramais de ligação): 848 km |
| Tipo de sistema | ☒ Adução<br>☒ Distribuição |

### 13.1.2 Motivação específica para as acções de controlo de perdas

O controlo de perdas é um dos objectivos fundamentais da entidade gestora por motivos económicos, ambientais, de segurança e de garantia da qualidade do serviço prestado aos clientes.

É de realçar que, neste concelho, as razões principais estão forçosamente relacionadas com a limitação de caudal disponível e pelo preço de aquisição de água à EPAL.

Existem três entradas de água no concelho: duas provenientes da EPAL e uma de captação própria. Os consumos de ponta diários, atingidos no Verão, superam a capacidade máxima diária de entrada de água no sistema. Nestes períodos críticos, só com uma exploração ao limite das reservas existentes tem sido possível assegurar os consumos registados.

No sentido de aumentar os caudais disponibilizados para o concelho estão a decorrer negociações entre CGE, a Câmara Municipal de Mafra, a EPAL e a Águas do Oeste.

Definiram-se as seguintes metas para dois dos indicadores de perdas de água na rede:

- Rendimento ≥ 80% (onde *Rendimento = água facturada / água introduzida na rede*).
- Índice de perdas ≤ 3,3 m3/dia.km (onde *Índice de perdas = volume de perdas de água por dia e por comprimento de rede existente, incluindo comprimento de ramais*)

### 13.1.3 Articulação entre o controlo de perdas e as outras áreas operacionais da entidade gestora

Os sectores da empresa envolvidos no controlo de perdas são os seguintes:

- Detecção de fugas – Equipa directamente responsável pelo seguimento do sistema de monitorização contínua de controlo, detecção e localização das perdas. É especializada na detecção de fugas no terreno;
- exploração da rede – Sector responsável pelo controlo dos volumes distribuídos, pela optimização dos tempos de reparação de avarias e interrupção de abastecimento, pelos alarmes para níveis máximos de reservatórios e caudais específicos, pela minimização de desperdícios de água nas operações de manutenção do sistema;
- gestão de clientes – Sector que procede à determinação dos volumes facturados, acompanha os consumos dos grandes consumidores, analisa eventuais subcontagens nos contadores dos clientes e controla os consumos abusivos e fraudes detectados;
- SIG – Sector que garante a actualização do cadastro da rede;
- Serviços Técnicos/Estudos e Projectos – Estudam as redes problemáticas e com maior incidência de avarias;

- Fiscalização de obras – Sector responsável pela verificação dos ensaios de estanquidade das tubagens.

## 13.2 Avaliação da dimensão do problema

Quando a empresa iniciou o contrato de exploração, em 1995, o Rendimento da Rede de Mafra era de 73%. Entretanto, com um investimento inicial significativo para implementar uma metodologia activa de detecção de fugas, conseguiu-se um aumento do rendimento da rede. Como se pode ver na Figura 59 existem algumas dificuldades em manter os valores máximos atingidos.

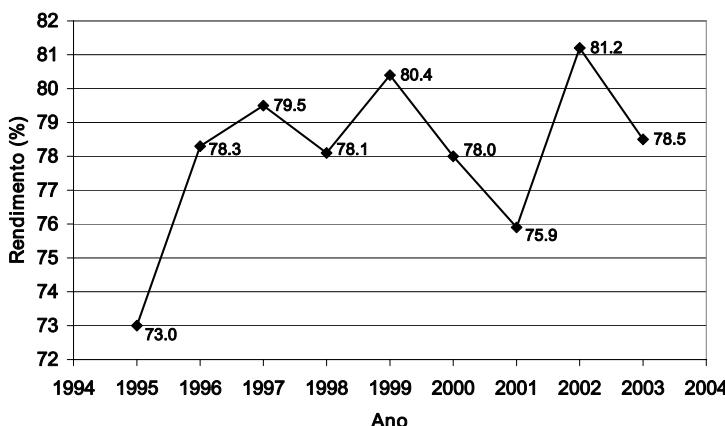



Figura 59 – Evolução do rendimento da rede entre 1995 e 2003

Para o cálculo do rendimento da rede considera-se que:

- Rendimento da rede = Água facturada / Água introduzida na rede;
- os volumes introduzidos na rede são determinados com base nas leituras dos 2 contadores de compra de água à EPAL e do contador de produção própria;
- os volumes facturados são determinados com base nas leituras dos contadores dos clientes.

No Quadro 58 apresentam-se os resultados do balanço hídrico do ano 2003.

No Quadro 59 apresentam-se os resultados obtidos no período entre 2001 e 2003, assim como os indicadores de desempenho sugeridos pela International Water Association calculados em 2003.

Quadro 58 – Resultados do balanço hídrico do ano 2003

<table>
<tr><th colspan="5">BALANÇO HÍDRICO DA REDE DE MAFRA (m3/ano) - 2003</th></tr>
<tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr>
<tr><td rowspan="9">Água entrada no sistema<br>5.659.481<br>100,0%</td><td rowspan="4">Consumo autorizado<br>4.501.928<br>79,5%</td><td rowspan="2">Consumo autorizado facturado<br>4.452.892<br>78,7%</td><td>Consumo facturado medido<br>4.442.952<br>78,5%</td><td rowspan="2">Água facturada<br>4.452.892<br>78,7%</td></tr>
<tr><td>Consumo facturado não medido<br>9.940<br>0,2%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Consumo autorizado não facturado<br>49.036<br>0,9%</td><td>Consumo não facturado medido<br>11.885<br>0,2%</td><td rowspan="7">Água não facturada (perdas comerciais)<br>1.206.589<br>21,3%</td></tr>
<tr><td>Consumo não facturado não medido<br>37.151<br>0,7%</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Perdas de água<br>1.157.553<br>20,5%</td><td rowspan="2">Perdas aparentes<br>362.757<br>6,4%</td><td>Uso não autorizado<br>50.918<br>0,9%</td></tr>
<tr><td>Erros de medição<br>311.839<br>5,5%</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Perdas reais<br>794.796<br>14,0%</td><td>Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição<br>547.306<br>9,7%</td></tr>
<tr><td>Fugas e extravasamentos em reservatórios<br>12.931<br>0,2%</td></tr>
<tr><td>Fugas nos ramais (a montante do contador)<br>234.560<br>4,1%</td></tr>
</table>

## 13.3 Estratégia utilizada para controlo de perdas

A estratégia utilizada por esta empresa para o controlo de perdas de água na rede passa por:

- Sensibilização do pessoal para a necessidade de diminuição das perdas de água no concelho;

- assegurar, às equipas directamente envolvidas nesta área, acções de formação específicas em metodologias, técnicas e equipamentos de controlo de perdas e detecção de fugas;
- aplicação de medidas que visam a reparação imediata das avarias detectadas e a minimização dos tempos de interrupção do abastecimento de água;
- identificação das redes com maior incidência de avarias/fugas e renovação das respectivas tubagens;
- controlo dos contadores de entrada de água no sistema;
- controlo dos contadores dos consumidores e um seguimento mais apertado dos grandes consumidores com sistema de telecontagem;
- plano de substituição dos contadores dos consumidores, cumprindo com uma periodicidade inferior ou igual à definida na legislação em vigor, dependendo dos diâmetros e consumos registados;
- utilização de contadores em todos os pontos de consumo mesmo que não sejam alvo de facturação;
- implementação de uma metodologia activa de detecção de fugas;
- existência de uma equipa dedicada exclusivamente ao controlo e detecção de fugas na rede;
- sectorização da rede e criação de Zonas de Medição de Caudais (ZMC), tendo por base áreas de influência dos reservatórios, patamares de pressão, número de consumidores e comprimento da rede. Controlo quer dos caudais mínimos nocturnos registados, quer dos volumes diários totalizados;
- cálculo de rendimentos parciais tendo em conta o volume de água introduzido nas ZMC e os consumos registados nas mesmas;
- campanhas de verificação das instalações particulares e de eventuais ligações clandestinas. Aplicação de medidas coercivas e de sanções no caso de detecção de fraudes;
- cálculo e análise anual do Balanço Hídrico. Aplicação de medidas de melhoramento;
- seguimento mensal dos indicadores que traduzem o desempenho da empresa nesta área.

Quadro 59 – Resultados obtidos entre 2001 e 2003

| **Dados Gerais** | **2001** | **2002** | **2003** |
|---|---|---|---|
| Rendimento da rede (%) | 75,9 | 81,3 | 78,7 |
| Perdas (m³ / km) | 1 599 | 1 221 | 1 435 |
| Perdas (m³ / dia) | 3 460 | 2 769 | 3 333 |
| Perdas (Euro / dia) | 1 592 | 1 373 | 1 633 |
| | | | |
| **Indicadores (IWA)** | **Unidades** | - | **2003** |
| Ineficiência na utilização dos recursos hídricos | % | - | 17,6 |
| Perdas de água por ramal | m³/ramal/ano | - | 50,0 |
| Perdas aparentes por volume de água entrada no sistema | % | - | 6 |
| Perdas aparentes por ramal | m³/ramal/ano | - | 16 |
| Perdas reais por ramal | litros/ramal/dia | - | 95 |
| Índice infra-estrutural de fugas | P. Reais/PRIM | - | 1,6 |
| Água não facturada em termos de volume | % | - | 21,3 |
| Água não facturada em termos de custo | % | - | 15 |
| Água não medida | % | - | 21% |
| **Dados Gerais** | **2001** | **2002** | **2003** |
| Rendimento da rede (%) | 75,9 | 81,3 | 78,5 |
| Água não facturada (%) | 24,1 | 18,7 | 21,5 |
| Perdas (m³ / km) | 1 599 | 1 221 | 1 435 |
| Perdas (m³ / dia) | 3 460 | 2 769 | 3 333 |
| Perdas (Euro / dia) | 1 592 | 1 373 | 1 633 |
| | | | |
| **Indicadores (IWA)** | **Unidades** | - | **2003** |
| Ineficiência de utilização dos recursos hídricos | % | - | 17,6 |
| Perdas de água por ramal | m³/ramal/ano | - | 50,0 |
| Perdas aparentes por ramal | m³/ramal/ano | - | 6,4 |
| Perdas reais por ramal | litros/ramal/dia | - | 119,0 |
| Índice de fugas na infra-estrutura | P. Reais/PRIM | - | 1,9 |
| Água não facturada por volume | % | - | 21,5 |

## 13.4 Intervenções para controlo de perdas

### 13.4.1 Técnicas de controlo de perdas

Com a implementação da estratégia acima definida procede-se ao acompanhamento exaustivo dos planos existentes e resultados obtidos, procurando garantir a minimização e o controlo das perdas de água no sistema nas suas vertentes principais, nomeadamente:

- Subcontagem em contadores de consumidores
- Consumo abusivo
- Perdas em instalações particulares antes do contador
- Controlo da medição da água introduzida no sistema
- Água não contabilizada na manutenção do sistema
- Perdas em reservatórios
- Fugas na rede

Para o controlo de perdas por fugas, existe um plano de monitorização da rede (baseado no controlo contínuo de caudais e pressões e na inspecção programada da rede) que é assegurado por uma equipa de 3 elementos, criada especificamente para o controlo e detecção de fugas na rede.

A metodologia utilizada no sistema de monitorização para detecção e controlo de fugas, existente é a seguinte:

- Sectorização da rede total e codificação dos vários sistemas e dos respectivos consumidores;
- identificação e definição das ZMC (actualmente, existem 72 ZMC);
- detecção e controlo através da monitorização da rede através de 3 métodos (isolados ou em combinação simultânea):
  - controlo pelo Índice Nocturno de Perdas – permite detectar o aparecimento de novas fugas nos sistemas, pois quando o valor é superior ao respectivo valor de referência, obtemos um sinal de alarme;

- controlo por Rendimentos Parciais – permite localizar as zonas com baixos rendimentos e direccionar acções de detecção de fugas no terreno;
  - Controlo por Permalogs – permitem com facilidade monitorizar toda a rede nas zonas urbanas e mais problemáticas, garantindo a detecção de pequenas avarias dificilmente detectadas pelos outros métodos;
- localização aproximada e detecção exacta através da utilização dos Permalogs, geófano, correlador acústico e vistorias pedonais;
- reparação imediata de fugas detectadas, procurando minimizar os tempos de interrupção de abastecimento de água aos clientes.

### 13.4.2 Técnicas e equipamentos de localização e detecção de fugas

Para assegurar o sistema de monitorização de detecção e controlo de fugas de acordo com a metodologia acima descrita, existe uma equipa específica que dispõe dos seguintes meios e equipamentos:

- 1 viatura desenhada e equipada especificamente para garantir as necessidades desta equipa;
- Vários contadores mecânicos e electromagnéticos instalados nas ZMC para controlo dos Caudais Mínimos Nocturnos e dos volumes diários;
- 2 aparelhos de escuta tradicional (geófanos) e 1 correlador acústico;
- 1 patrulhador e 50 permalogs (dispositivos acústicos para pré-localização das fugas) usados nas redes urbanas, com um plano de rotatividade;
- 8 registadores de caudal e pressão, instalados em rotatividade, para registo dos caudais mínimos nocturnos das várias ZMC, em locais onde ainda não está instalado o sistema de telegestão;
- 2 caudalímetros de inserção;
- 1 detector metálico;
- 1 kit de análise de água.

## 13.5 Aplicações computacionais

Para controlo das perdas de água na rede são utilizadas informações de várias aplicações informáticas:

- Telegestão (sistema Sofrel) – para registo de volumes comprados, volumes de produção própria, volumes distribuídos na rede, curvas de caudais, níveis de reservatórios, pressões na rede, tele-leitura de consumos de alguns clientes;
- programa de gestão de clientes (HEBOL) – para registo de volumes facturados aos clientes, identificação e classificação do tipo e do perfil dos clientes;
- programas de computador de análise e controlo dos registos dos Loggers (Radcom) – para registo de curvas de caudais e de pressões da rede. São utilizados fundamentalmente para análise dos Caudais Mínimos Nocturnos;
- SIG (Giris Eau) – para consulta gráfica da caracterização das redes existentes, do número e localização das fugas e de outras informações relevantes.
- folhas de cálculo Excel para registo e controlo dos Índices Nocturnos de Perdas para os vários sistemas.

Na Figura 60, na Figura 61, na Figura 62 e na Figura 63 apresentam-se 4 exemplos de gráficos gerados e de janelas dos programas utilizados.

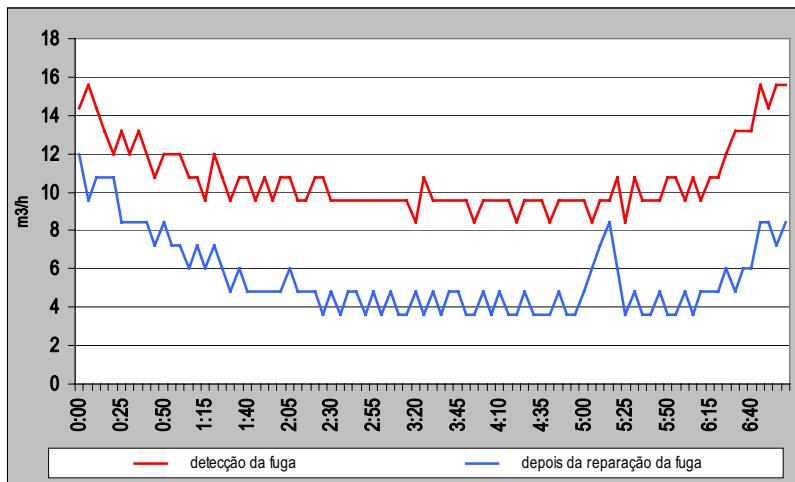



Figura 60 – Controlo de fugas pelo Índice Nocturno de Perdas (INP). Sobreposição de dois registos de caudais mínimos nocturnos registados no mesmo local antes e após a detecção e reparação de uma fuga (*loggers* - Radcom)

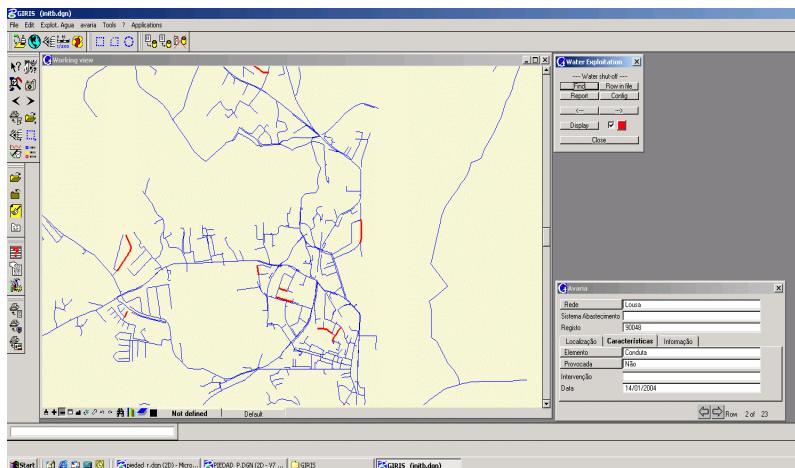



Figura 61 – Representação de fugas no SIG

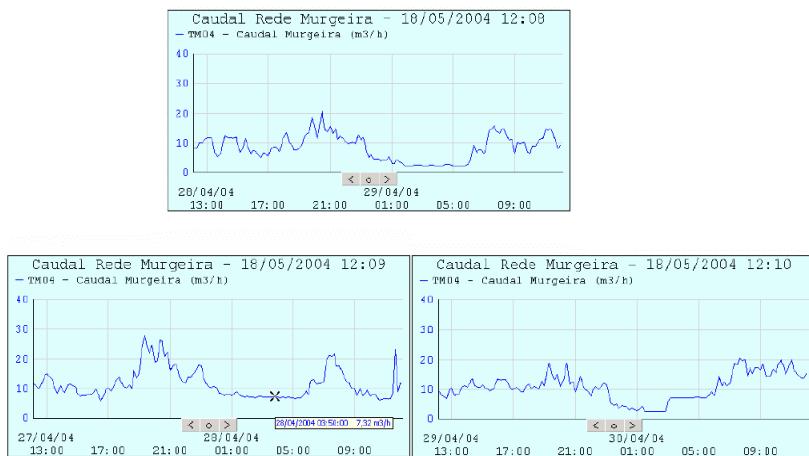



Figura 62 – Detecção de fuga através do sistema de telegestão (registo normal com fuga e registo após reparação)

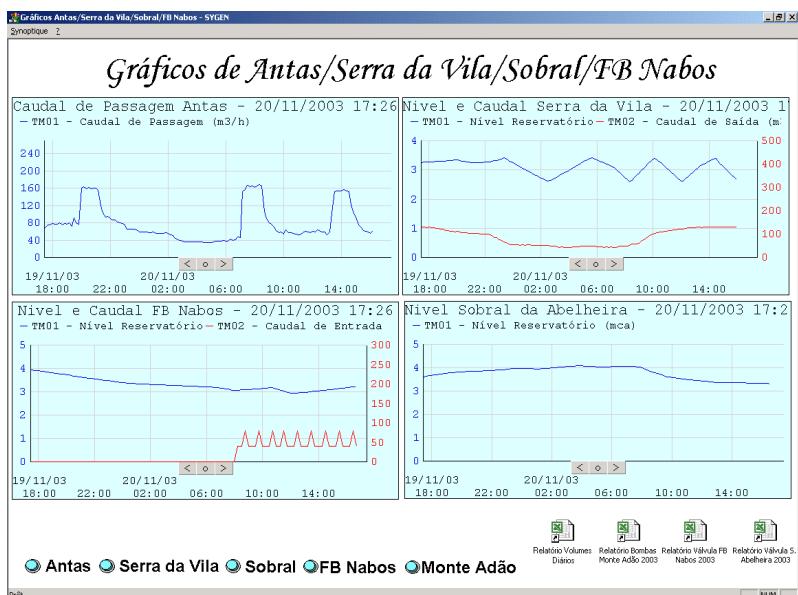



Figura 63 – Controlo de níveis e caudais através do sistema de telegestão

## 13.6 Análise de resultados

### 13.6.1 Análise económica do controlo de perdas

A análise económica do controlo de perdas é baseada na determinação de:

- Volume de perdas e contabilização dos respectivos custos de aquisição de água, de consumo de energia eléctrica e dos produtos de tratamento;
- custo da equipa existente especificamente para a detecção de fugas de água;
- custo dos equipamentos existentes e afectos à equipa de detecção de fugas (investimento total de 92 000€);

Em 2003 obtiveram-se os seguintes resultados:

- Custo total das perdas de água: 596 261€
- custo total dos meios da equipa: 53 030€

  Pessoal: 38 434€

  Equipamentos: 6 146 € (amortização anual)

  Deslocações: 8 450€

Caso não se tivessem implementado os meios específicos na detecção de perdas, o rendimento em 2003 seria igual ao de 1995 (73%), o custo das perdas seria de 805 208€, pelo que o aumento do rendimento traduziu-se num ganho de 208 947€.

Considerando o custo total dos meios da equipa, verifica-se que o benefício total da detecção das fugas, em 2003, foi de 155 917€, o que equivale a 872 $m^3$/dia.

No Quadro 59 apresentam-se os resultados dos indicadores económicos seguidos pela empresa.

### 13.6.2 Balanço final comentado

A evolução no tempo de uma pequena fuga, não detectada e não reparada no início, agrava-se podendo levar ao rebentamento das condutas. A detecção de fugas, antes do rebentamento de uma conduta, permite:

- Diminuir o tempo de interrupção no abastecimento para reparar a avaria;

- reparar a avaria de uma forma programada, com aviso aos clientes de eventuais cortes;
- diminuir o volume de água perdido na avaria;
- minimizar problemas de qualidade da água. Num rebentamento de conduta, facilmente terras e materiais envolventes entram nas tubagens e podem alterar a qualidade da água.

Um melhor rendimento da rede permite abastecer o mesmo número de clientes com menor quantidade de água à entrada dos sistemas e com menor transporte de água nas condutas, ou seja,, permite:

- Retardar eventuais restrições de fornecimento de água, aspecto que neste concelho é particularmente importante dadas as limitações de entrada de água no sistema;
- retardar investimentos em infra-estruturas, ou seja, as redes atingem o seu limite máximo de capacidade de transporte mais tarde.

# 14. O CASO DE OEIRAS

## 14.1 Descrição geral

### 14.1.1 Perfil do operador

O sistema de abastecimento de Oeiras é operado pelos SMAS de Oeiras e Amadora. O Quadro 60 apresenta a informação que caracteriza o perfil deste operador.

Quadro 60 – Perfil do operador do sistema de abastecimento de Oeiras

| | |
|---|---|
| Modelo institucional | ☒ Serviços Municipalizados<br>☐ Serviços Municipais<br>☐ Empresa Pública<br>☐ Empresa Municipal<br>☐ Concessão |
| Tipo de actividade | ☒ Abastecimento público de água<br>☒ Saneamento de águas residuais urbanas<br>☐ Gestão de resíduos sólidos urbanos |
| Dimensão do operador (valores de 2003) | Volume de negócios: $44,4 \times 10^6$ €/ano |
| | Volume médio diário de água entrada no sistema: $33 \times 10^6$ $m^3$/ano |
| | Número total de empregados: 451 |
| | Número total de clientes registados: 172 790 |
| | Comprimento total de condutas de adução e distribuição (excluindo os ramais de ligação): 930 km |
| Tipo de sistema | ☐ Adução<br>☒ Distribuição |

### 14.1.2 Motivação específica para as acções de controlo de perdas

A motivação dos SMAS de Oeiras e Amadora foi melhorar a gestão do sistema de distribuição.

O objectivo estabelecido foi o de atingir um valor de perdas totais de 25%.

### 14.1.3 Articulação entre o controlo de perdas e as outras áreas operacionais da entidade gestora

Foi criado um gabinete específico que controla e articula todas as actividades relacionadas com o controlo das perdas reais (sectorização da rede de distribuição, monitorização de caudais mínimos nocturnos, controlo activo de fugas).

## 14.2 Avaliação da dimensão do problema

As metodologias adoptadas para avaliar a dimensão do problema são:

- Cálculo do balanço hídrico;
- Análise de caudais mínimos nocturnos.

Os valores indicados para os dois primeiros indicadores têm como base a projecção de uma amostra de cerca de 30 % da área total servida.

Na situação actual, os indicadores obtidos, de acordo com a terminologia da IWA, são os seguintes:

Perdas reais = 462 l/ramal/dia

Indicador infra-estrutural de perdas = 7

Água não facturada (por volume) = 29 %

## 14.3 Estratégia utilizada para controlo de perdas

A estratégia utilizada para o controlo de perdas contempla as seguintes etapas:

- Reavaliação dos actuais níveis de perdas reais e aparentes e compreensão dos factores que podem contribuir para a sua redução.
- Estabelecimento de objectivos quantificados, tendo em atenção o estabelecimento de um nível económico de perdas.
- Planeamento de zonas de medição e controlo:
  - Sectorização total da rede de distribuição;
  - investimento e execução dos trabalhos de sectorização;
  - exploração dos sistemas existentes de acordo com uma política activa de controlo de perdas.
- Reavaliação periódica dos objectivos estabelecidos em 2.

## 14.4 Intervenções para controlo de perdas

### 14.4.1 Técnicas de controlo de perdas

As técnicas de controlo de perdas adoptadas contemplam:

- Controlo de perdas reais através da monitorização de caudais mínimos nocturnos; controlo activo de perdas reais;
- substituição de tubagens;
- maior rapidez na reparação de roturas;
- gestão de pressão;
- substituição de contadores.

### 14.4.2 Técnicas e equipamentos de localização e detecção de fugas

A monitorização de caudais mínimos nocturnos como forma de estabelecimento de prioridades de zonas a serem alvo de sondagem acústica de redes e ramais, podendo ou não serem utilizados *step tests*.

Pretende-se, a curto prazo, uma verificação de dois em dois anos de toda a rede.

Os equipamentos utilizados são:

- Vareta acústica;
- correlacionador acústico;
- loggers acústicos.

## 14.5 Aplicações computacionais

As aplicações computacionais usadas são as seguintes:

- Programas de telemedição e de recolha de dados por *datalogger*;
- programa Socrates para caracterização de consumos domésticos nocturnos e outros;
- programa de tratamento de dados para determinação de indicadores de perdas reais, desenvolvido localmente;
- EPANET para projecto de ZMCs e sua futura calibração.

## 14.6 Análise de resultados

### 14.6.1 Análise económica do controlo de perdas

Este tipo de análise ainda não foi desenvolvida.

### 14.6.2 Balanço final comentado

O insuficiente grau de sectorização da rede não permite ainda uma avaliação razoável dos impactos na qualidade do serviço prestado e, muito menos, uma caracterização quantificada dos mesmos.

De qualquer modo, a implementação do programa de controlo de perdas já originou desenvolvimentos significativos no programa de gestão de consumidores e sistema de informação geográfica, pretendendo-se, a breve prazo, implementar iniciativas semelhantes na área das reparações de redes por forma a permitir uma correcta avaliação de componentes de perdas reais (BABE).

# 15. O CASO DE SANTO TIRSO

## 15.1 Descrição geral

### 15.1.1 Perfil do operador

O sistema de abastecimento de Santo Tirso é operado pela Indaqua Santo Tirso – Gestão de Águas de Santo Tirso, S.A. O Quadro 61 apresenta a informação que caracteriza o perfil deste operador.

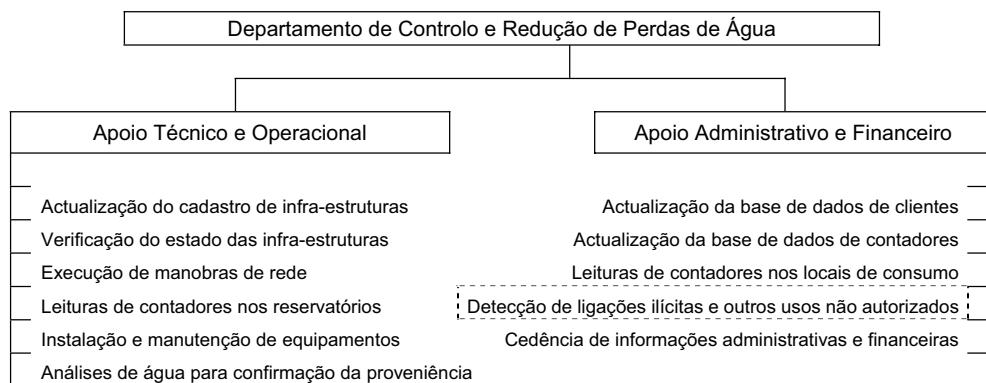
Quadro 61 – Perfil do operador do sistema de abastecimento de Santo Tirso

| | |
|---|---|
| Modelo institucional | ☐ Serviços Municipalizados<br>☐ Serviços Municipais<br>☐ Empresa Pública<br>☐ Empresa Municipal<br>☒ Concessão |
| Tipo de actividade | ☒ Abastecimento público de água<br>☐ Saneamento de águas residuais urbanas<br>☐ Gestão de resíduos sólidos urbanos |
| Dimensão do operador (valores de 2003) | Volume de negócios: $2{,}11\times10^{6}$ €/ano |
| | Volume médio diário de água entrada no sistema: $2{,}14\times10^{6}$ $m^3$/ano |
| | Número total de empregados: 31 |
| | Número total de clientes registados: 12 895 (média anual) |
| | Comprimento total de condutas de adução e distribuição (excluindo os ramais de ligação): 220,7 km (média anual) |
| Tipo de sistema | ☐ Adução<br>☒ Distribuição |

### 15.1.2 Motivação específica para as acções de controlo de perdas

Os elevados investimentos necessários para aumentar a cobertura do serviço, bem como para manutenção e melhoramento dos

sistemas em exploração, obrigam a reflectir sobre todas as possíveis formas de aumentar a eficiência do serviço. Numa Concessão onde a quase totalidade da água distribuída é fornecida *em alta*, com custos significativos, o controlo e a redução das perdas de água inserem-se numa área de intervenção de extrema importância sob o ponto de vista económico. Por outro lado, reveste-se também de grande importância a abordagem desta matéria em termos ambientais, já que a escassez do recurso hídrico tende à adopção de medidas racionalização dos usos.

No início da Concessão, em 2 de Novembro de 1999, a água não facturada (perdas comerciais) ultrapassava 40% do volume de água entrada no sistema, valor este que motivou a tomada de medidas imediatas. Constatou-se também a inexistência de um cadastro de infra-estruturas fidedigno, capaz de espelhar a constituição do sistema de abastecimento e o seu estado de conservação, bem como a existência de um parque de contadores extremamente velho. Neste cenário, definiram-se os objectivos indicados no Quadro 62.

Quadro 62 – Objectivos do programa de controlo de perdas de água

| Ano | Objectivos |
|---|---|
| 1999/2000 | Actualização do cadastro de infra-estruturas<br>Início de uma campanha de substituição de contadores |
| 2001/2002/2003 | Redução das perdas comerciais para 30% |
| 2004/2005 | Redução das perdas comerciais para 25% |

### 15.1.3 Articulação entre o controlo de perdas e as outras áreas operacionais da entidade gestora

O sucesso de um projecto desta natureza, está intimamente ligado ao empenho de cada um dos departamentos da empresa e ao contributo individual de cada um dos seus elementos. A Figura 64 representa o esquema organizativo da Indaqua Santo Tirso/Trofa no âmbito deste projecto.

A dinâmica de trabalho que integra os departamentos técnico e administrativo da empresa tem um carácter de complementaridade. Também os benefícios resultantes deste projecto abrangem a generalidade das áreas de actividade da empresa, não esquecendo o próprio utente que poderá constatar melhorias na qualidade do serviço prestado.

Figura 64 – Apoio ao Departamento de Controlo e Redução de Perdas de Água

## 15.2 Avaliação da dimensão do problema

O cálculo do balanço hídrico é efectuado anualmente, como forma de avaliar o desempenho do sistema. Atendendo ao facto da Indaqua Santo Tirso/Trofa apenas efectuar a distribuição da água fornecida *em alta* pelo Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água à Área Norte do Grande Porto, o balanço hídrico não inclui algumas componentes das perdas reais, nomeadamente as perdas de água bruta, perdas no tratamento e perdas na adução e armazenamento. Desta forma, apenas as perdas na distribuição são consideradas, além das perdas aparentes, sem esquecer o consumo autorizado que inclui os volumes de água utilizados por 4 Corporações de Bombeiros. Para uma avaliação rigorosa das componentes do balanço hídrico, sublinha-se a importância da correcta medição dos volumes de água entrados no sistema e distribuídos aos utentes, possível através de uma correcta gestão do parque de contadores e do serviço de leituras de consumos.

Para permitir o controlo das perdas de água do sistema, bem como a análise financeira do projecto, tornou-se necessário definir alguns indicadores de desempenho. Assim, no que concerne às ***perdas reais***, adoptaram-se os seguintes indicadores:

- Perdas por consumidor e por unidade de tempo (l/consumidor/dia);

- perdas por unidade de comprimento de conduta e por unidade de tempo (l/km conduta/dia);
- percentagem do volume de água distribuído (%).

Sabe-se que, no cálculo do indicador referido em a), a utilização do número de ramais é preferível ao número de consumidores. No entanto, no período anterior ao início da Concessão, não foi efectuada a contabilização do número de ramais existentes na rede mais antiga. Neste momento, nas obras realizadas pela Indaqua Santo Tirso/Trofa são contabilizadas todas as ligações, estando a ser feito em simultâneo o mesmo trabalho para as redes antigas.

Relativamente aos ***indicadores de desempenho financeiro***, consideram-se como mais significativos os seguintes:

- Percentagem dos volumes facturados e não facturados, relativamente ao volume total entrado no sistema (%);
- perdas comerciais totais, decompostas em consumos autorizados não facturados, perdas aparentes e perdas reais (€/$m^3$);
- percentagem das perdas comerciais, relativamente aos custos operacionais (%).

## 15.3 Estratégia utilizada para controlo de perdas

Iniciando a abordagem pela componente das ***perdas aparentes*** relativa aos usos de água não autorizados, a estratégia adoptada passou fundamentalmente pela sensibilização dos colaboradores da empresa que facilmente compreenderam que as ligações ilícitas ao sistema, além de poderem transmitir aos utentes cumpridores uma imagem de tratamento desigual por parte do prestador do serviço, poderão incentivar o aparecimento de novas situações, originam despesas ou perdas de receita com reflexos nos resultados operacionais. Os leitores e os técnicos de operação e manutenção da rede, bem como os fiscais, no contacto diário com as instalações prediais e demais infra-estruturas, têm um papel importante na denúncia de situações ilícitas de abastecimento. A segunda componente das perdas aparentes, relativa aos erros de medição, tem sido combatida através de uma campanha de substituição de contadores. No início da Concessão, verificou-se que 41% dos contadores de pequeno calibre apresentavam períodos de instalação superiores a 15 anos, situando-se a maioria numa faixa entre 20 e 30 anos. Além de

contrariar o disposto na legislação vigente, esta situação originava elevadas perdas de receita devido à subcontagem. Este efeito é tanto mais acentuado, quanto maior for a idade dos contadores e menor for a classe de consumo. Estudos efectuados pela Indaqua Santo Tirso/Trofa em 2001[7] mostraram que, para um determinado subsistema de abastecimento e após uma campanha de substituição de contadores, foi obtido um ganho médio de contabilização dos volumes de água fornecida, na ordem dos 20% (Figura 65 e Quadro 63). Conclui-se, também, ser importante o cálculo dos prazos económicos de substituição dos contadores que, no caso da Indaqua Santo Tirso/Trofa, resultaram sempre inferiores aos valores limites legislados.

Relativamente ao controlo das ***perdas reais***, as condições de funcionamento da rede de distribuição, principalmente no que respeita à pressão a que está sujeita, têm uma influência significativa. Nalguns sistemas de abastecimento foram efectuadas alterações de funcionamento, de modo a que as pressões diminuíssem para valores mínimos, respeitando o valor legislado e garantindo sempre o fornecimento de água sem deficiências. O bom estado de funcionamento das válvulas de seccionamento tem especial importância no sucesso dos ensaios de rede efectuados para a detecção de fugas. Como tal, foi efectuado o levantamento cadastral e a verificação de todas as válvulas de seccionamento principais (localização geográfica, estado de conservação, posicionamento de serviço, grau de importância, etc.), acções que resultaram num programa específico de renovação destas infra-estruturas.

Um outro aspecto considerado foi a fiabilidade na medição. No início da Concessão, constatou-se que os contadores mecânicos instalados à saída dos reservatórios de entrega de água *em alta* estavam quase sempre sobredimensionados e com períodos de instalação demasiado longos. Ciente que todo o trabalho efectuado para controlo e redução das perdas de água tem como base a rigorosa contabilização dos volumes de água entrada no sistema, a Indaqua Santo Tirso/Trofa substituiu todos estes contadores por medidores de caudal electromagnéticos, correctamente instalados e dimensionados, associados a dispositivos de segurança que garantem o funcionamento de

---

[7] Nunes, P. (2002). As perdas por subcontagem em contadores de pequeno calibre. O caso particular da Indaqua Santo Tirso. 6.º Congresso da Água. Março 2002

forma ininterrupta, bem como a *dataloggers* para registo dos caudais e volumes.

Quadro 63 – Comportamento metrológico dos contadores domésticos. Ganho médio após campanha de substituição

| Classe de consumo ($m^3$/mês) | Contadores substituídos | Idade média (anos) | Ganho médio (%) |
|---|---|---|---|
| 0 a 5 | 105 | 18 | 44,7 |
| 0 a 10 | 127 | 18 | 19,3 |
| 0 a 15 | 49 | 20 | 17,0 |
| 0 a 25 | 25 | 16 | 7,6 |
| 0 a 50 | 2 | 15 | 10,3 |
| 0 a >50 | 0 | - | - |
| Totais | 308 | 17 | 19,8 |

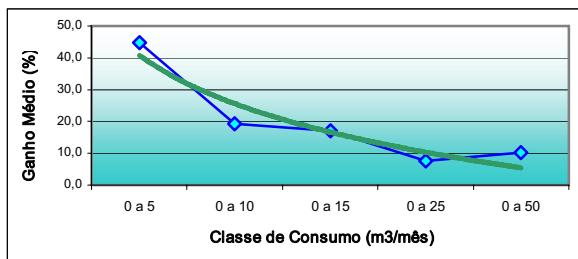



Figura 65 – Comportamento metrológico dos contadores domésticos. Ganho médio após campanha de substituição

É também importante a constante actualização do cadastro de infra-estruturas, efectuada com base nas informações diariamente recolhidas pelas equipas de operação e manutenção da rede. Um bom cadastro permite uma actuação mais rápida e eficiente no combate às perdas de água. Da mesma forma, o sistema de Gestão de Clientes, igualmente responsável pela gestão do parque de contadores, deverá apresentar elevados níveis de confiança na informação que disponibiliza.

## 15.4 Intervenções para controlo de perdas

### 15.4.1 Técnicas de controlo de perdas

Com um cadastro de infra-estruturas representativo das redes de abastecimento em serviço, deu-se início, em 2001, à criação de Zonas de Medição e Controlo (ZMC). Cada ZMC foi inicialmente

estudada para que o seu funcionamento fosse optimizado no que concerne aos parâmetros técnicos de operação, nomeadamente quanto ao dimensionamento e pressão de funcionamento. Uma vez garantida a estabilidade de cada ZMC, deu-se início à recolha de dados. As ZMC passaram a ser sujeitas a um controlo frequente e minucioso dos dados de operação (caudais, pressões, posicionamento de válvulas, registo de avarias e dados da qualidade da água), dos dados relativos a consumidores (número de clientes, tipo de clientes e clientes especiais), bem como dos dados associados aos consumos (valores facturados a clientes e consumos autorizados não facturados).

Os medidores de caudal instalados em cada ZMC, associados a *dataloggers*, permitem o registo contínuo da água entrada no sistema e demonstraram ser uma ferramenta de trabalho imprescindível ao controlo e redução das perdas de água. Com este equipamento são conseguidas curvas tipo de consumos, que possibilitam a identificação de situações anómalas de funcionamento. Salienta-se a identificação de roturas com a possibilidade de posterior quantificação de volumes de água perdida, bem como a utilização de hidrantes pelas Corporações de Bombeiros, permitindo aferir as informações sobre consumos, por estas remetidas periodicamente.

A curva de consumos diários, tipificada na Figura 66, permite obter os caudais nocturnos, com especial importância para o seu valor mínimo. Teoricamente, sabemos que o caudal nocturno representa a soma das perdas reais (fugas) com os consumos legítimos nocturnos. Estes últimos serão a soma dos consumos registados em clientes especiais, através de *dataloggers* de caudal previamente instalados, com o valor estimado dos consumos legítimos nocturnos dos clientes domésticos. Deste balanço, obtém-se o valor das perdas reais. O cálculo e consequente análise dos caudais mínimos nocturnos (CmN) diários da ZMC permitem a fácil identificação de novas fugas de água. Aumentos progressivos ou bruscos do CmN indiciam a existência de fugas de água. Esta técnica apenas permite a identificação de novas fugas de água bem como a quantificação dos caudais de fugas detectadas por outras vias (Figura 67).

Recentemente foram instalados *dataloggers* de pressão em pontos estratégicos das ZMC, permitindo a medição contínua de pressões na rede. Esta técnica tem-se revelado eficaz, tanto na prevenção como na localização de fugas de água. Estes

equipamentos permitem detectar desajustes em válvulas redutoras de pressão, identificando as respectivas causas, bem como recolher informação que, cruzada com os CmN e perante a identificação de uma situação anómala, possibilita a redução do raio de actuação das acções para a detecção de fugas (Figura 68). Uma outra ferramenta importante é a base de dados de reclamações de utentes e avarias. Com o auxílio das informações transmitidas pela população consegue-se, em muitas situações, avançar com maior rapidez para a resolução dos problemas.

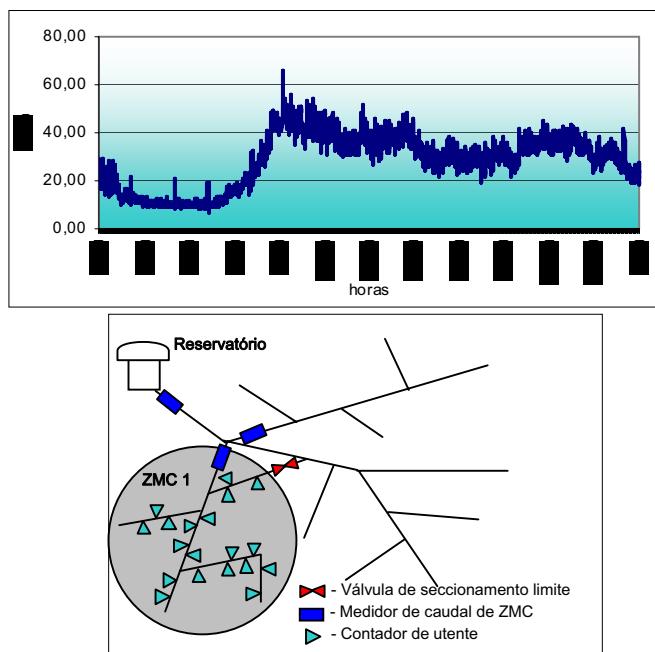



Figura 66 – Curva de consumos de uma ZMC

### 15.4.2 Técnicas e equipamentos de localização e detecção de fugas

Representando as perdas reais a maior fracção da globalidade das perdas de água do sistema de abastecimento de Santo Tirso e Trofa, e tendo em atenção o seu significado em termos económicos, justificou-se a aquisição de alguns equipamentos de detecção acústica. Devido às limitações destes equipamentos quando utilizados em tubagens não metálicas, os ensaios são sempre precedidos por outras técnicas que permitem minimizar o

raio de pesquisa. A análise às reclamações recebidas, caso existam, relativas à ZMC em causa, é sempre o primeiro procedimento a efectuar. Posteriormente, realizam-se inspecções visuais no terreno, seguindo o traçado das condutas. Caso se justifique, são também efectuados outros ensaios, nomeadamente *step tests* nocturnos e ensaios de pressão, que permitem identificar as zonas críticas.

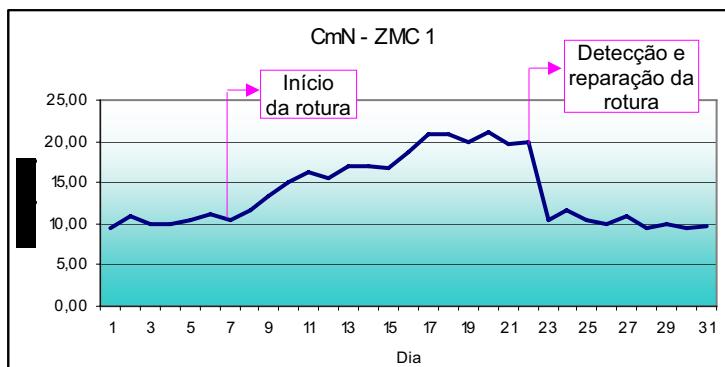



Figura 67 – Detecção e reparação de uma rotura em conduta através do CmN

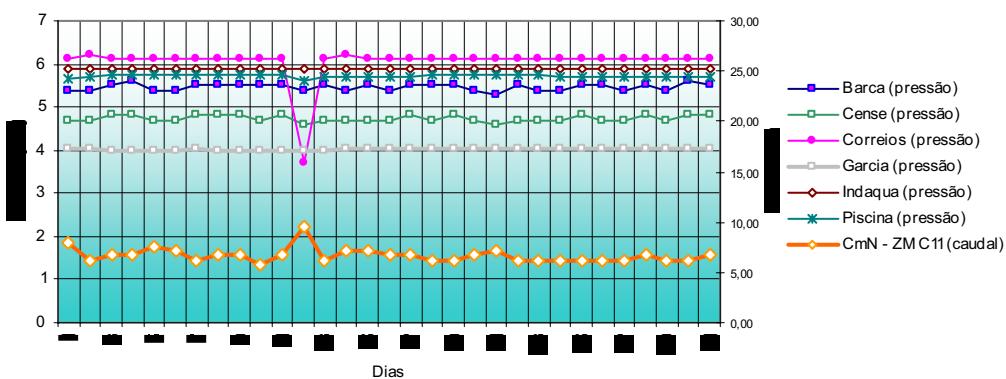



Figura 68 – Variação das pressões na rede com o CmN

## 15.5 Análise de resultados

### 15.5.1 Análise económica do controlo de perdas

Para o cumprimento dos objectivos inicialmente propostos não foi necessário um investimento avultado, dado que são utilizados os meios técnicos praticamente existentes. No entanto, a partir de um determinado momento, será necessário um forte investimento para obter uma pequena redução das perdas. Esta análise de custo-benefício define o *nível económico de perdas,* a partir do qual não é interessante, do ponto de vista económico, dar continuidade ao projecto. Assim, os futuros projectos deverão ser implementados após uma análise prévia deste conceito.

Na Figura 69 apresentam-se os resultados do balanço hídrico relativo aos anos 2002 e 2003, bem como os indicadores de perdas reais e financeiros recomendados pela IWA.

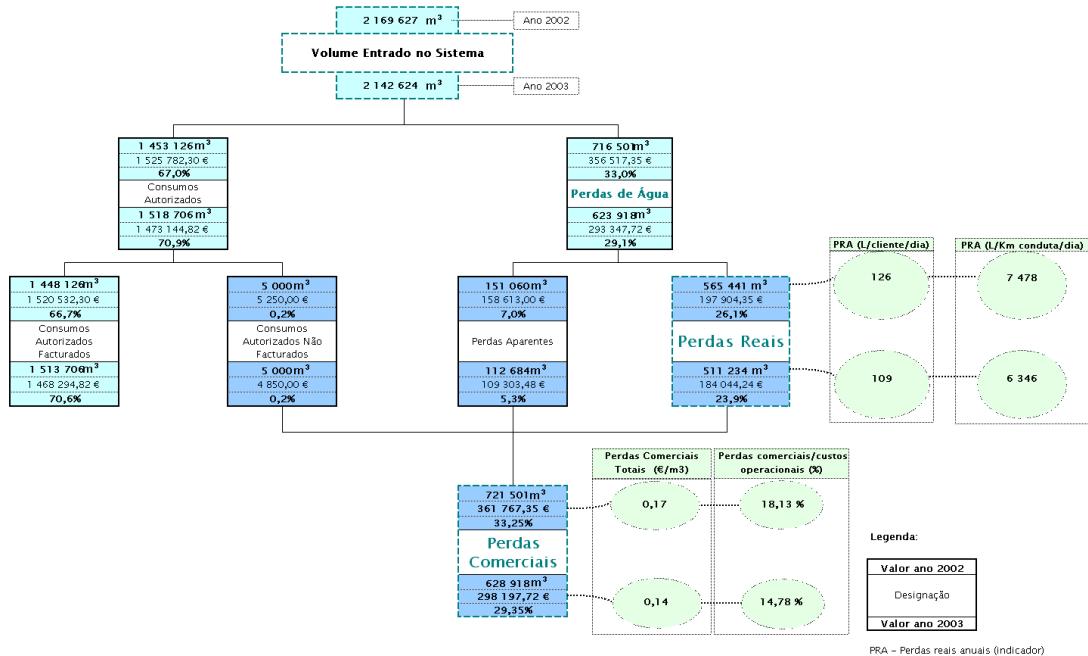



Figura 69 – Balanço hídrico e indicadores de desempenho em 2002 e 2003

Constata-se que, em 2003, foi facturado um maior volume de água, tendo-se adquirido menos água à entidade fornecedora *em alta*. A detecção de algumas fugas de água com caudais significativos, em Dezembro de 2003 e no início de 2004, diminuíram para cerca de 20% o valor das perdas de água reais (resultados do primeiro semestre de 2004). Nesse mesmo ano de 2003, os custos associados ao projecto foram claramente compensados pelos benefícios conseguidos.

### 15.5.2 Balanço final comentado

Este projecto tem sido, até ao momento, um motor de mobilização dos colaboradores da empresa. A complementaridade das acções, que obriga a um aliciante trabalho de grupo, e a consciência de que os resultados obtidos são benéficos para todos garantem um natural incentivo e um continuado empenho.

Numa empresa em que o peso do custo de aquisição da água *em alta* é extremamente elevado, representando quase 40% da totalidade dos custos operacionais (1º semestre de 2004), as acções para redução das perdas de água são fundamentais para garantir a sustentabilidade do serviço. Aos claros benefícios económicos deste projecto, associam-se outros igualmente importantes – ambientais e de imagem, todos eles conducentes a uma preocupação constante na melhoria do serviço prestado aos utentes.

Concluída a primeira fase do projecto, torna-se necessário garantir a sustentabilidade das acções futuras. Assim, pretende-se diminuir significativamente a componente de mão-de-obra com a implementação de um *Sistema de Telemetria* que, concomitantemente, permitirá obter maior rapidez de actuação e fiabilidade dos dados recolhidos. Passará a ser possível efectuar o controlo em tempo real das variáveis de maior importância para o controlo das perdas de água, nomeadamente dos caudais entrados no sistema e das pressões em pontos estratégicos da rede de distribuição.

A Indaqua Santo Tirso/Trofa está a desenvolver um projecto de *Sistema de Informação Geográfica (SIG)*. Esta ferramenta de trabalho irá certamente contribuir para a organização do cadastro de infra-estruturas de abastecimento de água, facilitando a consulta e manuseamento dos dados que actualmente são armazenados em Autocad. Entre outras potencialidades, o SIG possibilitará também associar a base de dados de clientes aos

elementos que caracterizam o sistema, principalmente aos respectivos ramais de ligação, permitindo a obtenção rápida de indicadores que, normalmente, obrigam a processos de cálculo morosos.

Para diminuir ainda mais a percentagem de perdas aparentes, a Indaqua Santo Tirso/Trofa, está presentemente a definir uma estratégia de gestão do parque de contadores, nomeadamente ponderando a adopção de novas tecnologias de medição. Desta forma, pretende-se melhorar o rigor da contabilização dos volumes de água fornecidos, bem como aumentar o número de leituras reais de contadores, diminuindo assim o número de leituras estimadas.

Com um cadastro de infra-estruturas fiável, dever-se-á também iniciar a utilização da *modelação matemática* como ferramenta de trabalho para simulação do comportamento hidráulico da rede de distribuição.

# BIBLIOGRAFIA

Alegre, H. (1986). *Modelos de Simulação de Sistemas de Distribuição de Água – Métodos de Avaliação e Distribuição de Consumos na Rede*. Informação Técnica e Científica de Hidráulica (ITH 25), LNEC, Lisboa, Portugal.

Alegre, H. (1990). *Modelação de redes de distribuição de água de abastecimento – Guia de utilização,* Informação Técnica de Hidráulica ITH31, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Alegre, H., Machado, P., Craveiro, J., Coelho, S.T. (1992), *"Caracterização dos consumos domésticos de água na Cidade de Lisboa",* Relatório 197/92 – NHS (confidencial), Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Alegre, H.; Coelho, S. T. (1993). *A methodology for the characterisation of water consumption*, in Integrated computer applications in water supply, Ed. Bryan Coulbeck, Research Studies Press, Reino Unido (pág. 369-384). ISBN 0 86380 154 4 (Research Studies Press Ltd.), ISBN 0 471 94232 4 (John Wiley & Sons Inc.).

Alegre, H. (1994). *Instrumentos de apoio à gestão técnica de sistemas de distribuição de água,* Vol. I da colecção Teses e Programas de Investigação LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Alegre, H.; Coelho, S. T. (1998). Princípios Relevantes para a Eficiente Gestão Técnica de Sistemas de Abastecimento de Água. *Anais do 8º Encontro Nacional de Saneamento Básico*, 27-30 Outubro, Barcelos, Portugal.

Alegre, H.; Dória, M.F. (1998). *Develop decision criteria to prioritize replacement and rehabilitation of mains and appurtenances - Survey results*, relatório 292/98-NES, Lisboa, 1998.

Alegre, H.; Baptista, J.M., Coelho, S.T.; Praça, P. (2004a) – Final WP1 Report: The CARE-W system of performance indicators for network rehabilitation, WP1, project CARE-W - Computer Aided REhabilitation of Water networks. Decision Support Tools for Sustainable Water Network

Management, 5th Framework Programme of the European Union, EVK1-CT-2000-00053, LNEC (102 pp.).

Alegre, H.; Hirner, W. Baptista, J.M.; Parena, R. (2004b). *Indicadores de desempenho para serviços de água*, Manual de boa prática, (versão portuguesa actualizada e adaptada de Performance indicators for water supply services, IWA Publishing, 2000), IRAR e LNEC, ISBN 972-99354-2-4 (278 pág.).

APDA (2004). *Abastecimento de água em Portugal – o mercado e os preços,* Comissão Especializada de Legislação e Economia da APDA, Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas, Julho de 2004.

AWWA (1996). *Water transmission and distribution*, colecção "Principles and practices of water supply operations", 2ª edição, 1996, American Water Works Association, E.U.A.

Baptista, J. M.; Alegre, H.; Matos, R.; Neves, E. B.; Pássaro, D.; Santos, R.F.; Cardoso, A.; Duarte, P.; Escudeiro, H.; Ribeiro, A.; Nunes, M. (2004). *Guia de avaliação de desempenho dos operadores de serviços de águas e resíduos*, Instituto Regulador de Águas e Resíduos e LNEC, Lisboa (110 pág., versão de trabalho).

Bragalli, C., Sacchi, S. (2002). *Burst frequency and leakage related to pressure control in water distribution network.* Lemesos 2002: Leakage management – a practical approach. Lemesos, Chipre.

Brothers, K. (2003). *The IWA Water Loss Task Force – Practical Approach Initiatives to Water Loss Reduction*, Water 21, International Water Association, June 2003.

Cesario, L. (1995). *Modeling, Analysis, and Design of Water Distribution Systems*. American Water Works Association, Denver, E.U.A..

Coelho, S.T. (1990). *Um sistema para análise e previsão de consumos em sistemas de abastecimento de água*. Informação Científica de Hidráulica INCH 3, LNEC, Lisboa (116 pág.). ISBN 972-49-1340-6

Coelho, S. T.; Alegre, H.; Pinheiro, I. (1994). *Caracterização das origens de perdas nas redes de distribuição de água.* Relatório NHS 196/94, LNEC, Lisboa (96 pág.).

Coelho, S.T. (1997). *Performance in water distribution: a system's approach*, Research Studies Press, Reino Unido; distr. John Wiley & Sons, E.U.A. (225 pág.).

Coelho, S.T., Loureiro, D., Alegre, H., Duarte, P. (2002). Modelação matemática do sistema multimunicipal de abastecimento de água do Sotavento Algarvio - Manual do modelo de simulação, Relatório 348/02 – NES (Circulação restrita).

Coelho, S.T., Loureiro, D., Alegre, H. e Praça, P. (2005). *Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água*, Série Guias Técnicos, IRAR.

Cubillo, F, Caro, M., Valle, J., Gamboa, S., Castaño, M. (1997). *Guía para la implantatión de sistemas de informatión en la gestión de redes de suministro de agua*, CENTA - Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua, Biblioteca del Agua, Isla de la Cartuja, Espanha.

Deb, A.K.; Grablutz, F.M.; Hasit, Y.J.; Snyder, J.K (2000). *Develop decision criteria to prioritize replacement and rehabilitation of mains and appurtenances*, AWWARF, Denver.

EOC (1994). *Managing leakage. Managing Water Pressure (Report G)*. Engineering and Operations Committee, UK.

Farley, M., Martin, L. (1994), *"Improving water management in leakage control",* Colloque Scientifique et Technique International "Mieux Gèrer l'Eau", 12-15 Abril 1994, Marselha, França.

Farley, M. (2001). Leakage Management and Control - A Best Practice Training Manual, World Health Organisation, <www.who.int/docstore/water_sanitation_health/leakage/begin.html, 2004-07-31>

Farley, M., Trow, S. (2003), *Losses in water distribution networks. A practitioner's guide to assessment, monitoring and control.* IWA Publishing.

Figueiredo, S. (2000). *Caracterização da situação portuguesa relativa à qualidade, estado de conservação e práticas de manutenção de condutas de água*, Relatório de estágio de fim de curso (licenciatura), Universidade Independente, Lisboa.

Gledhill, P., (1994). *“Developing a leakage control strategy”,* Bywater International, *in* BICS International Conference on Leakage Control – Investing in Underground Assets, 22 Março 1994, Londres, Reino Unido.

Hegarty, M. (1994), *“The strategic role of information technology in leakage control”,* East Surrey Water Company, Reino Unido.

Hellas, F. (1988). *Les techniques recentes dans le domaine de la detection des fuites*. Relato da Bélgica sobre Técnicas Recentes no Domínio da Detecção de Fugas, Conferência Regional Europeia da Associação Internacional dos Distribuidores de Água (AIDA) 1988, Lisboa, Portugal.

Hirner, W., Alegre, H., Coelho, S. T. (1999). *Perdas de água em sistemas de abastecimento: conceitos básicos, terminologia e indicadores de desempenho*, Revista Recursos Hídricos, Maio 1999, Vol. 20, n.º1, APRH, Lisboa (pág. 103-112).

Holtschulte, H., Laske, C. (1988). *Causes and assessment of water losses*, Relato Geral sobre Técnicas Recentes no Domínio da Detecção de Fugas, Conferência Regional Europeia da Associação Internacional dos Distribuidores de Água (AIDA) 1988, Lisboa, Portugal.

INAG (2001). *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. Versão Preliminar. Outubro de 2001. Lisboa.

IWA (2000). *Blue pages on losses from water supply systems*. Ed. A. Lambert e W. Hirner, International Water Association (edição electrónica).

IWA (2002). *Lemesos 2002: Leakage management – a practical approach*. International Water Association, Lemesos, Chipre.

Jowitt, P.W., Coelho, S.T., (1994). *Performance analysis of water distribution systems*, British Hydromechanics Group's International Conference on Pipeline Systems, Edinburgo, Reino Unido.

Lambert, A. (1994). *Accounting for losses – the bursts and background estimates concepts*. Journal of the Institution of Water and Environmental Management, Vol. 8, n.º 2 (pág. 205-214).

Lambert, A., Myers, S., Trow, S. (1998). *Managing water leakage – Economic and technical issues*. London: Financial Times Energy.

Lambert, A., Brown, T.G., Takizawa, M., Weimer, D. (1999). *A review of performance indicators for real losses from water supply systems*. AQUA – Journal of water supply research an technology, International Water Association, Dezembro de 1999.

Lambert, A. (2001). *What do we know about pressure: leakage relationships in distribution systems?* IWA Specialised conference on System Approach to leakage control and water distribution systems management. Brno, República Checa.

Lambert, A. (2003). *Assessing non-revenue water and its components*, Water 21, International Water Association, August 2003.

Lambert, A., Fanner, P. (2004). *Component Analysis of Real Losses*, Water 21, International Water Association, April 2004.

McKenzie, R.S. (2001). *Pressure Management Program (PRESMAC)*. South African Water Research Commission, WRC Report Nr. TT 152/01, Africa do Sul.

McKenzie, R., Wegelin, W.A. (2002). *Leakage reduction through pressure management in South Africa*. Lemesos 2002: Leakage management – a practical approach. Lemesos, Chipre.

McKenzie, R., Lambert, A. (2004). *Performance indicators, targets and predictions*, Water 21, International Water Association, August 2004.

Morrison, J. (2004). *Managing Leakage by District Metered Areas*, Water 21, International Water Association, February 2004.

OFWAT (2003). *Security of supply, leakage and the efficient use of water*, 2002-03 Report, Office of Water Services, Reino Unido.

Pilcher, R. (2003). *Leak Detection Practices & Techniques*, Water 21, International Water Association, December 2003.

Rizzo, A. (2004). *Managing apparent losses*", Water 21, International Water Association, June 2004.

Rossman, L. (2004). *Manual do utilizador do EPANET 2.0 – Simulação hidráulica e de parâmetros de qualidade em sistemas de transporte e distribuição de água*, Tradução e adaptação: Dália Loureiro e Sérgio Teixeira Coelho, Série Guias Técnicos, IRAR.

Sægrov, S. *et al.* (2004). *CARE-W final report, project CARE-W - Computer Aided REhabilitation of Water networks. Decision Support Tools for Sustainable Water Network Management*, 5th Framework Programme of the European Union, EVK1-CT-2000-00053 (164 pág.).

Thornton, J. (2002). *Water loss control manual.* McGrawHill.

Thornton, J. (2003). *Managing Leakage by Managing Pressure*, Water 21, International Water Association, Julian, October 2003.

Ulanicki, B., Bounds, P.L.M., Rande, J.P., Reynolds, L. (2000). *Open and closed loop pressure control for leakage reduction*. *Urban Water*, **2**, 105-114.

Walski, T., Chase, D., Savic, D., Grayman, W., Beckwith, S., Koelle, E. (2003). *Advanced water distribution modeling and management*. Haestad Methods, USA.

WAA, WRc (1980). *Leakage control policy and practice,* Water Authorities Association / Water Research Centre Technical Working Group on Waste of Water, NWC/DoE Standing Technical Committee Report no.26, Reino Unido.

WRc (1994). *Leakage management – A manual for the design and management of district meter areas, Vols. 1 & 2,* Leakage Management Training Workshop, 30-31 de Março de 1994, Water Research Centre, Medmenham, Reino Unido.

WRc (1994a). *"Evaluation of the cost of active leakage control",* UC2229, Water Research Centre, Swindon, Reino Unido.

WRc; WSA; WCA (1994). *UK water industry: managing leakage*, Water Research Center, Vol. 1-9, Water Services Association e Water Companies Association, Reino Unido.

Yoshimoto, P., Tardell Filho, J., Sarzedas, G. (1999). *PNCDA – DTA – D1 - Controle de pressão na rede*. www.pncda.gov.br

# GLOSSÁRIO

Apresenta-se seguidamente uma selecção de termos específicos do tema a que se refere o presente manual.

**Controlo activo da pressão** – minimização da pressão em excesso num sistema de distribuição de água com o objectivo de reduzir as perdas reais e a frequência de roturas em condutas

**Correlação acústica** – Método de localização de fugas que utiliza o correlador acústico, um aparelho de localização que efectua a escuta em dois pontos diferentes da tubagem e determina a posição relativa da fuga por correlação cruzada, calculando a diferença de tempo verificada no registo das mesmas frequências através dos dois microfones.

***Datalogger*** – Registador electrónico de dados, permitindo a ligação a um (ou mais) medidor(es) no terreno, para gravação em contínuo ou por amostragem programada. A autonomia de um *datalogger* pode variar entre poucos dias e várias semanas, dependendo da memória e fonte de alimentação disponíveis, volume de dados a registar e modo de registo.

**Fecho progressivo** – Técnica de localização de fugas que consiste em ir fechando válvulas dentro da ZMC, partindo das zonas hidraulicamente periféricas e caminhando no sentido do medidor. Utilizado em campanhas nocturnas temporárias.

**Fuga** – Qualquer caudal que inadvertidamente se perca por uma rede pública ou predial de distribuição de água, de modo não controlado ou deliberado. Fugas de caudal podem dever-se a defeitos e avarias da infra-estrutura, como roturas, fendilhação ou falta de estanquidade nas tubagens, juntas, válvulas e demais elementos, ou podem ocorrer devido a regulação incorrecta de válvulas, torneiras, autoclismos, etc.

**Interrogação** – Operação de recolha dos dados armazenados num *datalogger*, seja por recolha da respectiva cassete (caso exista), seja por ligação a um equipamento de recolha tal como um computador portátil.

**Medição zonada** – Método de controlo activo de perdas por monitorização contínua, que envolve a divisão criteriosa da rede de distribuição num conjunto de *Zonas de Medição e Controlo*, de contornos fixos e rigorosamente identificados, cujas entradas de caudal são continuamente medidas.

**Monitorização contínua de caudais nocturnos** – Actual prática britânica, definida pela National Leakage Initiative (Reino Unido) como a medição e registo de caudais nocturnos em zonas de dimensão entre 1000 e 3000 propriedades (ligações à rede), observadas pelo menos em 20 ocasiões diferentes durante o ano.

**Nível-base de perdas** – O nível de perdas obtido após reparação de todas as roturas e avarias detectáveis. Constitui o nível de referência para a definição da estratégia de *medição zonada*, muito embora possa não coincidir com o *nível económico*.

**Nível económico de perdas** – O nível de perdas a que corresponde a melhor relação entre o investimento efectuado na estratégia de combate às perdas e as economias conseguidas com essa estratégia. Nessa situação, o custo marginal do controlo activo de perdas é igual ao custo marginal da água.

**Nível passivo de perdas** – O nível de perdas verificado quando não há investimento em controlo activo de perdas, sendo estas controladas apenas através da reparação das roturas detectadas pelo público.

**Sondagem acústica** – Método de localização de fugas que consiste em sondar directamente, por intermédio de aparelhos de escuta, os pontos de mais fácil acesso da tubagem, como sejam válvulas, torneiras e marcos de incêndio. O operador necessita de bastante experiência para poder fazer uso completo da técnica, identificando os ruídos que são produzidos por fugas e procurando as maiores intensidades. Pode ser efectuada por contacto apenas com a superfície (sondagem acústica de superfície).

**Subzonamento** – Técnica de localização de fugas que consiste no refinamento espacial da *medição zonada*, dividindo-se internamente uma *ZMC* em áreas mais pequenas conforme o permita a topologia e válvulas disponíveis.

**Zona de Medição e Controlo** – Porção de uma rede de distribuição de água, de dimensão típica variando entre 2000 e 5000 consumidores, rigorosamente delimitada (se necessário, através do fecho de válvulas), com medição e registo de caudais em todos os pontos de alimentação.

**ZMC** – ver *Zona de Medição e Controlo*.

---

## VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA

### Termos fundamentais e gerais

---

### Resultados da medição

*Exactidão* (da medição) - aproximação entre o resultado da medição e o valor (convencionalmente) verdadeiro da grandeza medida. Evitar *precisão* em vez de exactidão.

*Incerteza* (da medição) - estimativa caracterizando o intervalo de valores no qual se situa o valor verdadeiro da grandeza medida.

*Repetibilidade* (da medição) - aproximação entre os resultados de medições efectuadas em instantes sucessivos de uma mesma grandeza, mantendo (i) método de medição; (ii) observador; (iii) instrumento de medição; (iv) local; (v) condições de utilização. Quantitativamente é expressa em termos de dispersão dos resultados.

*Reprodutibilidade* - aproximação entre os resultados de medições de uma mesma grandeza quando se faz variar condições tais como: (i) método de medição; (ii) observador; (iii)instrumento de medição; (iv) local; (v) condições de utilização; (vi) tempo. Quantitativamente é expressa em termos de dispersão dos resultados.

### Características dos instrumentos de medição

*Alcance* - para cada amplitude de escala, conjunto de valores da grandeza medida para os quais o instrumento de medição apresenta valores no interior dessa amplitude da escala, para

uma posição particular dos seus comandos. É sempre expresso em unidades da grandeza a medir, independentemente da unidade marcada na escala.

*Amplitude da medição* - módulo da diferença entre os dois limites do alcance de um instrumento de medição.

*Deriva* - variação lenta com o tempo de uma característica metrológica do instrumento de medição.

*Erro do atraso* - erro ocasionado pelo atraso na resposta do instrumento de medição a um sinal de entrada variável.

*Erro de repetibilidade* - componente aleatória do erro do instrumento de medição.

*Estabilidade* - aptidão do instrumento de medição para conservar as suas características metrológicas.

*Exactidão* - aptidão do instrumento de medição para dar indicações próximas do verdadeiro valor da grandeza medida.

*Folga* - intervalo no interior do qual o sinal de entrada pode ser modificado sem provocar variação de resposta do instrumento de medição.

*Gama de medição* (especificada) - conjunto dos valores da grandeza a medir para os quais o erro do instrumento de medição é supostamente mantido entre determinados limites (alcance máximo e mínimo).

# ANEXOS

Os anexos seguintes apresentam as principais características gerais e critérios de selecção do equipamento de medição de caudais, de registo local de dados e de localização de fugas utilizado no âmbito do controlo de perdas de água.

Os equipamentos disponíveis no mercado têm vindo a evoluir rapidamente, sendo previsível que se continue a verificar esta tendência. Assim, as características mais específicas deverão ser obtidas caso a caso através da consulta de informação actualizada, em particular a disponibilizada pelos respectivos fabricantes ou fornecedores.

# ANEXO 1 – EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

## 1. Tipos de medidor

O processo de selecção dos medidores a utilizar para registo contínuo de caudais mínimos é uma das etapas fundamentais no estabelecimento de um sistema de medição zonada. Uma escolha correcta poderá facilitar grandemente a operação e manutenção do sistema de controlo de perdas, enquanto que uma selecção menos cuidada poderá contribuir para a sua inviabilização.

Os tipos de medidores geralmente disponíveis no mercado para as gamas de diâmetros habitualmente utilizadas em esquemas de medição zonada, e considerados adequados para essa finalidade, são os seguintes:

- Mecânicos – tipo hélice ou Woltman, com a possibilidade de ligação a um registador mecânico ou a um gerador de impulsos.
- Electromecânicos – em que a rotação de uma turbina é electronicamente convertida para valores analógicos ou de frequência.
- Electromagnéticos – medidores que não introduzem perturbações no escoamento, baseados na leitura das variações de um campo magnético, produzindo valores analógicos ou de frequência.
- Ultra-sónicos – medidores que não introduzem perturbações no escoamento, estimando o caudal a partir do tempo de percurso de um sinal ultrassónico perpendicular à tubagem, e produzindo valores analógicos ou de frequência.
- De inserção – medidores que utilizam um sensor de turbina, um tubo de pitot ou um sensor electromagnético na extremidade de uma sonda que é introduzida na conduta através de uma tomada em carga, e que efectuam a medição no seio do próprio escoamento, a uma distância da parede considerada adequada para representar a velocidade média. Estes aparelhos podem ser instalados ou removidos sem interrupção do serviço.

Os medidores mecânicos são tradicionalmente os mais utilizados para medição permanente de caudais em redes de distribuição.

No entanto, os medidores electromagnéticos, ultra-sónicos e de inserção (sobretudo os electromagnéticos) são hoje em dia cada vez mais uma alternativa rentável, fornecendo gamas de medição mais alargadas, maior precisão e, nos dois últimos casos, maior flexibilidade e utilização em locais diversos consoante as necessidades.

Os medidores de caudal também podem ser classificados em *aparelhos de campo total*, quando medem a velocidade média do escoamento na secção, e de *campo parcial*, quando medem uma velocidade localizada, pontual.

Nos aparelhos de campo total a velocidade média é medida por uma grandeza que lhe está associada, por exemplo:

- velocidade de rotação de uma turbina ou de uma hélice (ex: Woltman);
- pressão diferencial provocada por um estrangulamento (ex: diafragmas; Venturi);
- força electromotriz criada pela passagem da água num campo magnético (electromagnéticos);
- velocidade de transmissão de ultra-sons (ultra-sónicos).

Quando a velocidade média é calculada por integração das velocidades verificadas ao longo de uma corda, a ovalização das condutas, frequente nos diâmetros superiores a 300 ou 400 mm, pode provocar erros de medição. Por essa razão alguns equipamentos fazem a medição em duas cordas perpendiculares, simultaneamente.

Os aparelhos de campo parcial, onde se incluem os medidores de inserção, necessitam:

- seja da determinação do ponto onde a velocidade é aproximadamente igual à velocidade média no momento de calibração, nas condições reais de utilização;
- seja da exploração do campo de velocidades, procedimento igual ao utilizado na medição de caudais em escoamentos em superfície livre.

Quando se trata de medições temporárias, podem preferir-se aparelhos cuja instalação seja mais cómoda, susceptíveis de ser transportados para diversos pontos de medição e adaptados a condutas de diferentes diâmetros, mesmo que tenham menor exactidão. Estão geralmente neste caso os medidores de campo

parcial: tipo hélice ou electromagnéticos. Os captores podem ser muito sensíveis e precisos, mas o facto de avaliarem o caudal por uma medição pontual de velocidade implica uma fonte de erros suplementar que deve ser devidamente contabilizada.

Os aparelhos ultra-sónicos portáteis, em que as sondas são colocadas no exterior da tubagem, presas a ela por cintas ajustáveis, veio vez permitir a medição do campo total de velocidades em equipamentos portáteis, com a facilidade suplementar de não ser necessário perfurar as condutas, sendo muito facilmente montados e desmontados.

Tal como acontece nos medidores de campo parcial, o mesmo aparelho pode ser utilizado para diâmetros diferentes de conduta. São, porém, sensivelmente mais caros e é difícil garantir uma boa calibração. Dado que a colocação é exterior, a espessura real da conduta é um parâmetro de grande importância. Os erros de leitura podem ainda ser originados por uma má estimação das características do material (velocidade de transmissão do ultrassom), pela colocação não exactamente diametral das sondas ou pela ovalização das condutas. Além de serem significativamente mais dispendiosos que os outros modelos portáteis, têm o inconveniente de não se adaptarem a tubagens com incrustações, sobretudo se estas apresentam espessuras diferentes ao longo de perímetro da secção de medição.

Os parágrafos seguintes referem-se aos critérios de selecção a respeitar e procedem a uma avaliação dos diversos tipos, de acordo com a utilização pretendida e os diversos condicionalismos.

## 2. Critérios de selecção

Os principais aspectos a tomar em linha de conta na selecção de medidores de caudal são os seguintes:

- *gama de medição* (especificada) - conjunto dos valores da grandeza a medir para os quais o erro do instrumento de medição é supostamente mantido entre determinados limites (alcance máximo e mínimo);
- *exactidão* (da medição) - aproximação entre o resultado da medição e o valor (convencionalmente) verdadeiro da grandeza medida;
- *repetibilidade* (da medição) - aproximação entre os resultados de medições efectuadas em instantes sucessivos de uma mesma grandeza, mantendo (i) método de medição; (ii)

observador; (iii) instrumento de medição; (iv) local; (v) condições de utilização. Quantitativamente é expressa em termos de dispersão dos resultados;

- *perda de carga introduzida;*
- *vulnerabilidade* a substâncias ou materiais presentes na água;
- possibilidade de medir caudais nos dois sentidos (em casos em que possa haver inversão do sentido do escoamento);
- exigências de instalação e manutenção;
- *custos* de aquisição, instalação, operação e manutenção.

A gama de medição e a exactidão do medidor de caudal devem naturalmente ser ajustados ao fim a que se destinam. Na maioria das tubagens a relação entre o caudal máximo e o mínimo significativo dificilmente excederá uma proporção de 20:1, gama essa coberta pela maioria dos aparelhos com excepção de alguns medidores ultra-sónicos. Nesse aspecto os medidores mecânicos e electromecânicos apresentam habitualmente a maior flexibilidade, com proporções da ordem de 100:1. No caso dos electromecânicos, existe frequentemente a vantagem adicional de a gama ser escalável, dentro de certos limites.

A escolha de aparelhos para medição zonada deve procurar um bom nível de exactidão, especialmente se se tratar de uma instalação em que os caudais de entrada e saída são nitidamente maiores do que o caudal consumido ou perdido na ZMC. A consistência das leituras, ou repetibilidade, é bastante importante para a coerência dos resultados na fase de análise. Deve ainda procurar-se uma gama alargada de utilização e uma boa sensibilidade a caudais muito baixos se se pretender usar a ZMC para testes de fecho progressivo.

# ANEXO 2 – EQUIPAMENTO DE REGISTO

## Tipos de equipamento e critérios de selecção

Sendo o *datalogger* o equipamento de registo mais utilizado para apoio ao controlo activo de perdas, pela simplicidade de utilização e custo moderado, descrevem-se neste anexo as principais características a ter em conta na sua aquisição e uso.

Os *dataloggers* são equipamentos electrónicos compactos, de volume reduzido, que se ligam aos equipamentos de medição e se destinam a recolher informação de um transdutor ou sensor de caudal ou pressão, segundo regimes de leitura geralmente programáveis. Alguns destes equipamentos, para além dos canais de registo de medições externas, têm ainda incorporado(s) um ou mais transdutores para medição de pressão, temperatura e outras grandezas.

Os modernos *dataloggers* podem funcionar localmente, com registo por um determinado período de tempo e recolha periódica de dados por ligação a um equipamento de recolha (PC portátil ou PDA), ou estar associados a equipamentos de transmissão de dados para uma central remota, via uma frequência rádio própria ou utilizando as redes de GSM/GPRS. Podem ainda integrar um sistema de telemetria de âmbito mais alargado.

Os *dataloggers* contêm entradas adaptadas à recepção de sinais analógicos, à contagem de impulsos ou a ambas. Quando o sinal é analógico, a amplitude da medida é codificada em termos de amplitude do sinal recebido, em corrente ou em tensão. Quando o sinal recebido é um impulso, a amplitude da medida é em geral expressa em frequência de impulsos. Ao especificar-se um *datalogger*, é crucial que sejam tidas em conta as amplitudes máxima e mínima emitidas pelo sensor, se este for analógico, e as frequências de interesse, se este for digital.

É fundamental igualmente entender a diferença entre os termos intervalo de amostragem (*sampling interval*, na designação em inglês) e intervalo de registo (*logging interval*). O primeiro refere-se ao intervalo entre leituras, nem todas registadas. O segundo refere-se ao intervalo de tempo entre registos, que podem resultar da média ou da totalização dos resultados das leituras, representar um valor instantâneo ou ainda um extremo verificado no intervalo (por exemplo, leitura máxima ou mínima). Este é um

dos aspectos mais importantes da correcta programação de *dataloggers*, uma vez que condiciona a veracidade dos registos que são efectuados. A programação deverá ser efectuada com plena consciencialização de qual o tipo de sinal, qual a sua amplitude e a do sensor, quais os intervalos de amostragem e de registo, e qual a natureza do valor registado (média, total, instantâneo ou extremo).

É sempre importante programar um intervalo de registo em consonância com as capacidades do equipamento de medição, com a variabilidade do fenómeno medido e com a natureza do valor transmitido (média, total, instantâneo ou extremo), por forma a tirar o melhor partido possível do processo e atingir um equilíbrio correcto entre o detalhe conseguido e a duração do registo ou a autonomia do equipamento.

As questões ligadas à limitação da capacidade de armazenamento dos *dataloggers* são cada vez menos limitativas, pois a diminuição gradual dos preços da memória computacional tem permitido sobredimensionar cada vez mais as capacidades destes equipamentos.

No entanto, e uma vez que a memória disponível é tem sempre um limite físico, são diversas as técnicas utilizadas para maximizar a sua capacidade de armazenamento. A mais simples, designada por *modo de memória finita*, consiste na paragem do processo de aquisição quando a memória se esgota. No *modo de memória em anel* é efectuado o armazenamento em circuito fechado: quando a memória se esgota, o processo continua, escrevendo por cima dos dados mais antigos. No *modo de auto-ajuste*, uma técnica de compactação automática, o equipamento procede ao registo dos dados ao ritmo programado e, ao ocupar a última posição de memória, alarga automaticamente o intervalo de registo para o dobro, substituindo o valor de duas posições de memória consecutivas pela sua média, para todos os registos. O processo é repetido tantas vezes quantas as necessárias.

Outra antiga limitação, que hoje em dia está claramente ultrapassada, é a autonomia em termos de fonte de energia, uma vez que a maior parte destes equipamentos já utilizam baterias capazes de vários anos de serviço contínuo, largamente superiores à duração dos ciclos de manutenção de dados.

O estabelecimento dos circuitos de recolha, leitura e manutenção dos equipamentos, no caso dos *dataloggers* sem dispositivo de transmissão remota de dados, é fundamental para que o processo

seja bem sucedido; se a rotina de recolha estabelecida e cumprida não for adequada pode conduzir a que se percam consideráveis volumes de registos por deficiente programação, agravada por vezes pela impossibilidade de visualização imediata dos registos. Este último factor é impeditivo da rápida detecção de deficiências de programação dos equipamentos, que por isso se pode prolongar frequentemente por longos períodos.

# ANEXO 3 – EQUIPAMENTO DE CONTROLO, LOCALIZAÇÃO E DETECÇÃO

## 1. Tipos de técnicas

As técnicas mais comuns de localização de fugas baseiam-se na detecção do ruído característico emitido pela água, ao sair da conduta em pressão. Dentro destas técnicas podem considerar-se três métodos:

- electroacústicos;
- de correlação acústica;
- de análise estatística da variância do ruído.

Os dois primeiros estão mais vocacionados para aplicações pontuais e o terceiro para uma vigilância permanente do sistema.

Nestes três métodos é possível distinguir dois níveis de actuação:

- Isolamento do ruído causado pela fuga;
- localização da fuga a partir desse ruído.

## 2. Métodos electroacústicos

Os métodos electroacústicos são os mais modestos em termos de investimento e são de fácil operação, mas exigem um ouvido bem treinado. O equipamento deste tipo funciona como amplificador do ruído, com ou sem a capacidade de filtrar ruídos espúrios, e cabe ao operador efectuar as duas operações anteriormente referidas, o isolamento e a localização. A sensibilidade do aparelho pode ser ajustada em função do ouvido do operador. Há, no entanto, equipamentos electroacústicos mais sofisticados, que permitem a memorização do sinal acústico característico da fuga, facilitando a segunda tarefa. Com eles o operador pode, por exemplo, recorrer a uma representação gráfica do sinal acústico seleccionado, decidindo mais facilmente sobre a intensidade do mesmo.

As limitações ao uso desta metodologia são:

- a dificuldade em detectar o ruído, devido à grande impedância acústica do(s) material(is) constituinte(s) da conduta;
- a subjectividade no reconhecimento do sinal emitido pela fuga, pois a sua frequência varia com o meio em que se propaga, podendo confundir-se com outras fontes de ruído;

- o pressuposto de que o ponto de fuga coincide exactamente com o ponto de intensidade máxima do ruído emitido pela mesma – tal nem sempre acontece, pois o meio de propagação não é uniforme e a impedância acústica não é a mesma em todos os pontos;
- a impossibilidade de diagnosticar, *a priori*, a existência de fuga, pois o processo não se adequa a uma vigilância permanente do sistema; só se recorre ao método para confirmar e localizar a fuga.

As características essenciais que contribuem para a eficiência do equipamento desenvolvido com base neste método são:

- a sensibilidade do sensor piezoeléctrico;
- o ganho do amplificador;
- a gama de frequências dos filtros;
- a autonomia em termos de energia necessária para alimentar o sistema.

## 3. Método de correlação acústica

A correlação é uma técnica matemática que permite comparar sinais. Como o ruído produzido pela fuga se propaga nos dois sentidos ao longo da conduta, podem comparar-se as diferenças de tempo de percurso $t$, entre sinais detectados a partir de dois pontos distintos.

A menos que a fuga esteja localizada exactamente equidistante dos dois pontos de observação e os meios de propagação sejam iguais, os sinais recebidos pelos dois transdutores não são simultâneos. A posição da fuga, $L$, a diferença de tempo de percurso, $t$, e a distância entre sondas, $D$, podem ser relacionadas pela seguinte equação:

$$D = 2\,L + V\,.t$$

logo:

$$L = 0{,}5\,(D - V.t)$$

Note-se que se $t = 0$, então $L = 0{,}5\,D$, como já tinha sido referido.

A função do correlador é a determinação, através da comparação dos sinais recebidos dos dois sensores, da diferença entre tempos de percurso, $t$.

A distância D entre sondas, determinada pelo operador, constitui um dado inicial.

A velocidade de propagação do som no meio, *V*, deve ser calculada para cada caso. Este cálculo pode ser:

- efectuado automaticamente pelo equipamento, pela análise do ruído emitido por uma fonte sonora com características conhecidas (ex.: um marco de incêndio ou uma boca de rega); ou
- pode ser introduzido no sistema de detecção como dado de entrada, mediante a consulta de tabelas de valores típicos, desenvolvidas para o efeito.

Os sinais acústicos são transmitidos ao sistema de correlação sob a forma analógica. Para efectuar a correlação é necessária a conversão prévia dos sinais recebidos directamente do transdutor, de analógicos para digitais. Esta operação é efectuada recorrendo a um conversor analógico-digital, ADC, cuja resolução influi na exactidão com que é efectuada a localização da fuga.

Este método é muito mais preciso que o anterior, e na maioria dos casos apresenta duas modalidades. Uma permite o funcionamento completamente autónomo face ao utilizador, com recurso a bases de dados internas, de onde retira automaticamente as informações sobre os filtros mais convenientes face ao material e dimensões da conduta. A outra modalidade alternativa é mais interactiva, permitindo aproveitar algumas vantagens do ouvido humano na identificação do ruído causado pela fuga, através da selecção dos filtros mais adequados àquela aplicação particular. Para este efeito possui não só ligações dos sensores ao correlador, mas também destes a auscultadores.

O inconveniente óbvio dos equipamentos completamente autónomos é o facto de não ser possível prever e programar todas as situações que possam vir a ocorrer. Surgem sempre casos especiais não previstos. Por esta razão, os auscultadores deveriam ser sempre classificados de acessório indispensável para este tipo de equipamento.

As características essenciais que contribuem para a eficiência do equipamento desenvolvido com base neste método são:

- a sensibilidade do sensor piezoeléctrico;
- o ganho do amplificador;
- a gama de frequências dos filtros;
- as características do ADC, resolução e tempo de resposta;

- o algoritmo que efectua a correlação dos dois sinais acústicos;
- a possibilidade ou não de determinação automática da velocidade do som;
- a autonomia em termos de energia necessária para alimentar o sistema.

## 4. Análise contínua da variância do sinal acústico

Este método baseia-se no facto de que a variância dos ruídos registados, preferencialmente, durante o período nocturno, é função da presença ou ausência de fuga. O equipamento que lhe está associado permite uma vigilância contínua do sistema de abastecimento, accionando, por exemplo um dispositivo de alarme caso haja suspeita de fuga.

Surgiram recentemente equipamentos deste tipo que incluem uma bateria de 10 a 20 sensores autónomos, de reduzidas dimensões,, que são espalhados numa determinada zona da rede, ligando-se por intermédio de um íman a acessórios metálicos ou às própria condutas, se forem metálicas. Os sensores registam individualmente o ruído durante um determinado intervalo de tempo (p.ex., uma semana) e são recolhidos periodicamente para leitura a partir de um equipamento próprio. Alguns destes equipamentos não necessitam mesmo de ser recolhidos, pois têm a capacidade de emitir os dados via rádio para uma central fixa ou móvel (a bordo de uma viatura).

Os sinais recolhidos por estes conjuntos de equipamentos são tratados por *programas de computador* especializado, que não só possui algoritmos para isolamento dos eventos em causa (ocorrência de fugas) como pode mesmo estar associado a uma representação espacial da rede e efectuar triangulações acústicas entre os sensores para ajudar a localizar esses mesmos eventos sobre a rede.

As características essenciais que contribuem para a eficiência do equipamento desenvolvido com base neste método são basicamente:

- a sensibilidade do sensor piezoeléctrico;
- o ganho do amplificador;
- a gama de frequências dos filtros;
- as características do ADC, resolução e tempo de resposta;

- o algoritmo interno de diagnóstico de fuga;
- a autonomia em termos de energia necessária para alimentar o sistema.